Fabrício Moraes de Almeida
(Organizador)



FRONTEIRAS DO CONHECIMENTO NAS CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

Atena Editora
Ano 2025

Fabrício Moraes de Almeida
(Organizador)



FRONTEIRAS DO CONHECIMENTO NAS CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

Atena Editora
Ano 2025

Editora chefe
Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira
Editora executiva
Natalia Oliveira
Assistente editorial
Flávia Roberta Barão
Bibliotecária
Janaina Ramos
Projeto gráfico
Ellen Andressa Kubisty
Luiza Alves Batista
Nataly Evilin Gayde
Thamires Camili Gayde
Imagens da capa
iStock
Edição de arte
Luiza Alves Batista

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA E ENGENHARIAS

Fronteiras do conhecimento nas ciências exatas e da terra

Diagramação:	Camila Alves de Cremo
Correção:	Jeniffer dos Santos
Indexação:	Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão:	Os autores
Organizador:	Fabrício Moraes de Almeida

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F935 Fronteiras do conhecimento nas ciências exatas e da terra / Organizador Fabrício Moraes de Almeida. – Ponta Grossa - PR: Atena, 2025.

Formato: PDF
Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader
Modo de acesso: World Wide Web
Inclui bibliografia
ISBN 978-65-258-3150-3
DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.503252801

1. Ciências exatas. 2. Ciências da terra. I. Almeida, Fabrício Moraes de (Organizador). II. Título.

CDD 509

Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166

Atena Editora
Ponta Grossa – Paraná – Brasil
Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DO AUTOR

Para fins desta declaração, o termo 'autor' será utilizado de forma neutra, sem distinção de gênero ou número, salvo indicação em contrário. Da mesma forma, o termo 'obra' refere-se a qualquer versão ou formato da criação literária, incluindo, mas não se limitando a artigos, e-books, conteúdos on-line, acesso aberto, impressos e/ou comercializados, independentemente do número de títulos ou volumes. O autor desta obra: 1. Atesta não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação à obra publicada; 2. Declara que participou ativamente da elaboração da obra, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final da obra para submissão; 3. Certifica que a obra publicada está completamente isenta de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirma a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhece ter informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autoriza a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA E ENGENHARIAS

DECLARAÇÃO DA EDITORA

As Fronteiras do conhecimento nas Ciências Exatas e da Terra tem um espectro amplo de conhecimento fundamental nas soluções das problemáticas para otimizar o desenvolvimento tecnológico e a inovação. Por exemplo, as diversas áreas das ciências exatas maximizam o avanço científico com o emaranhado de aplicações, desde o *makrós* até o nanobiotecnológico e a nanociência.

Usualmente, no livro, são demonstradas diversas perspectivas teórico-práticos nos resultados obtidos pelos vários autores para cada capítulo. De fato, a Atena Editora oferece a divulgação técnico-científica com excelência, basilar para garantir o destaque entre as melhores editoras.

Fabrício Moraes de Almeida

SUMÁRIO

INFORMATIZAÇÃO DAS ATIVIDADES DESEMPENHADAS POR CONTROLES DE PORTÕES ELETRÔNICOS

Data de submissão: 02/01/2025 *Data de aceite: 02/01/2025*

Alex Silva
Análise e Desenvolvimento de Sistemas (IFRO/Ji-Paraná).

Jackson Henrique da Silva Bezerra
Doutor em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente(PGDRA/UFRO). Professor do IFRO/Ji-Paraná.

Fabrício Moraes de Almeida
Doutor em Física(UFC). Esp. em Análise e Desenvolvimento de Sistemas (FUNIP). Professor do Departamento de Engenharia Elétrica – UFRO.

RESUMO: Os portões eletrônicos, tornaram-se elementos fundamentais na automação, segurança e privacidade de residências ou empresas. Este trabalho propõe o desenvolvimento de uma solução tecnológica para o gerenciamento de portões eletrônicos deslizantes, integrando conceitos de Internet das Coisas (IoT) e automação residencial. O objetivo principal foi criar um sistema acessível e funcional que permita o controle remoto dos portões por meio de dispositivos móveis, com operação tanto via internet quanto Bluetooth, mesmo em condições adversas de conectividade. A metodologia baseou-se no estudo de caso, utilizando uma perspectiva qualitativa descritiva e a metodologia ágil Scrum para o desenvolvimento do sistema. Os resultados demonstraram a viabilidade da solução, com funcionalidades como controle remoto eficiente, registro de histórico de operações, abertura parcial dinâmica e inclusão simplificada de usuários. A solução supera limitações dos sistemas existentes, oferecendo maior acessibilidade, controle e segurança para os usuários.

PALAVRAS-CHAVE: Portão eletrônico. Desenvolvimento. Automação residencial. IoT. Inovação. Controle remoto.

ABSTRACT: Electronic gates have become fundamental elements in the security and privacy of homes and businesses. This work proposes the development of a technological solution for the management of electronic sliding gates, integrating Internet of Things (IoT) and home automation concepts. The main objective was to create an accessible and functional system that allows remote control of the gates using mobile devices, with operation via both the internet and Bluetooth, even in adverse connectivity conditions. The methodology was based on the case study, using a descriptive qualitative perspective and the agile Scrum

methodology for system development. The results demonstrated the viability of the solution, with features such as efficient remote control, recording of operations history, dynamic partial opening and simplified user inclusion. The solution overcomes limitations of existing systems, offering greater accessibility, control and security for users.
KEYWORDS: Electronic gate. Development. Home automation. IoT. Innovation. Remote control.

1 I INTRODUÇÃO

Com o avanço das tecnologias na atualidade, a sociedade testemunha a rápida evolução de dispositivos e sistemas que moldam significativamente nosso cotidiano CARVALHO e LORENA, 2017). Nesse contexto, os portões eletrônicos deslizantes, elementos fundamentais na segurança e praticidade residencial, estão sujeitos a aprimoramentos que refletem as inovações contemporâneas. Observa-se a necessidade de integrar os benefícios proporcionados pela automação residencial e pela Internet das Coisas (IoT) a esses dispositivos (FERRARI *et al.,* 2021).

A presente pesquisa visa explorar e desenvolver uma aplicação inovadora para o gerenciamento de portões eletrônicos deslizantes, permitindo seu controle por meio de dispositivos móveis. Ao identificar as limitações dos atuais sistemas disponíveis, a proposta busca superar alguns obstáculos. A introdução de um dispositivo eletrônico específico, interligado à central do portão, possibilitará uma comunicação eficiente e sem fio com dispositivos móveis, tornando-se uma solução mais acessível.

Com o mundo moderno, o surgimento de novas tecnologias é constante, abrindo um leque de ideias e oportunidades que possibilitam importantes avanços em nosso modo de vida (MORAES, 2018). Ao analisar o funcionamento dos atuais portões eletrônicos, observa-se que é possível melhorá-los com a adição de novos recursos e tecnologias que se tornaram bastante populares na atualidade.

Esta pesquisa tem como foco desenvolver e apresentar uma nova aplicação e dispositivo para o gerenciamento das atividades dos portões eletrônicos deslizantes, garantindo seu controle a partir de dispositivos móveis por meio de conceitos de automação residencial e Internet das Coisas. Atualmente, já existem alguns dispositivos de funcionalidade semelhante e disponíveis ao consumidor, porém não funcionam sem conexão com a internet (ROCHA JÚNIOR, 2014). Para que seja possível controlar o portão diretamente através de dispositivos móveis, foi desenvolvido um dispositivo eletrônico para intermediar a comunicação entre a central do portão eletrônico e os dispositivos móveis. O dispositivo foi interligado fisicamente à central do portão eletrônico, enquanto os comandos do dispositivo móvel, pelo aplicativo, serão enviados e recebidos por conexão sem fio.

A escolha do microcontrolador ESP32 para o desenvolvimento do hardware foi feita levando em consideração seu baixo custo e, principalmente, o suporte a múltiplas conexões sem fio como Wi-Fi e Bluetooth (SANTOS e LARA JUNIOR, 2019). Permitindo que o usuário

opere o portão eletrônico mesmo na falta de conexão com a internet, sendo utilizado o Bluetooth para configuração do portão e como segunda opção de controle. A distância até o portão deixará de ser uma limitação, pois dispositivos conectados funcionarão de qualquer local que tenha conexão com a internet. Como o controle e utilização do portão eletrônico se dará por meio de dispositivos móveis do próprio utilizador, o processo de configuração e inclusão de novos usuários é simplificado, dispensando a necessidade de aquisição de novos controles do próprio portão.

Com o uso da tecnologia desenvolvida neste projeto, os usuários conseguirão controlar seus portões eletrônicos pelo celular. Será mais fácil a inclusão de novos usuários para o uso do portão eletrônico, sem gerar custos adicionais por usuário com a compra e a configuração de novos controles. Além disso, é registrado o histórico de acionamento do portão, indicando o portão, o responsável e a data e hora, e o portão poderá ser acionado pelo celular mesmo que não tenha conexão de internet.

O objetivo geral do projeto é desenvolver um sistema para a informatização das atividades desempenhadas por controles de portões eletrônicos. Para atingir este objetivo, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos: revisar o estado da arte referente aos recursos e tecnologias IoT necessários para o desenvolvimento do projeto; desenvolver um protótipo de hardware para integrar na placa controladora do motor do portão eletrônico; analisar, projetar, desenvolver e testar um firmware para realizar a comunicação do protótipo de hardware com o portão eletrônico; analisar, projetar, desenvolver e testar um aplicativo móvel para realizar a abertura do portão eletrônico; e analisar, projetar, desenvolver e testar o servidor da aplicação.

2 | METODOLOGIA DA PESQUISA APLICADA

Visando atingir os objetivos propostos, é fundamental compreender os métodos aplicados neste estudo, pois eles fornecem, de maneira organizada, a direção e o foco necessários para encontrar soluções para os problemas apontados no objeto de estudo. Os conceitos de metodologia são determinantes no desenvolvimento da pesquisa, e, portanto, as perspectivas do pesquisador devem seguir seus fundamentos. O estudo de caso, amplamente difundido no meio científico, pode ser aplicado em diferentes áreas do conhecimento. Contudo, para utilizar essa abordagem, é essencial compreender suas definições (CASTRO FILHO, FREIRE e MAIA, 2021, p. 3-4).

Proetti (2017, p. 3) descreve os tipos de investigação que podem ser adotados: a pesquisa quantitativa, caracterizada pela objetividade e precisão, utiliza dados mensuráveis; enquanto a pesquisa qualitativa busca compreender, analisar e descrever eventos relacionados à pesquisa. Ambas as abordagens podem ser combinadas, dependendo do objeto de estudo. É importante destacar que o estudo de caso, por envolver uma análise mais aprofundada, frequentemente utiliza a abordagem qualitativa. Essa abordagem

permite explorar fenômenos e circunstâncias de interesse do pesquisador.

Conforme Castro Filho et al. (2021, p. 8), o estudo de caso apresenta três perspectivas distintas: descritiva, exploratória e explicativa. Neste trabalho, foi realizada uma investigação qualitativa com abordagem descritiva, por meio do estudo de caso. Essa escolha possibilita detalhar os processos necessários para solucionar os problemas levantados, permitindo ao leitor compreender cada etapa do processo de solução.

2.1 Metodologia de Desenvolvimento de Projeto

O desenvolvimento de software é uma atividade complexa que exige planejamento estruturado e a adoção de metodologias adequadas para garantir eficiência e qualidade. Para este projeto, foi utilizada a metodologia ágil Scrum, que organiza o trabalho em ciclos iterativos e incrementais, denominados Sprints. Os principais eventos do Scrum incluem *Sprint Planning, Daily Scrum, Sprint Review* e *Sprint Retrospective*, que estruturam o processo e promovem a melhoria contínua. A metodologia utiliza artefatos como o *Product Backlog*, *Sprint Backlog* e Incremento, que organizam e monitoram o progresso do projeto de forma clara e objetiva. A escolha do Scrum justifica-se por sua flexibilidade e aplicabilidade em diferentes contextos, possibilitando a integração de equipes enxutas e a entrega constante de funcionalidades alinhadas às necessidades do cliente (SCHWABER, 2020).

Ferramentas como o Jira Software foram utilizadas para facilitar a implementação da metodologia, garantindo maior eficiência na gestão do projeto e reduzindo custos e retrabalhos. Assim, o Scrum oferece uma abordagem prática e ágil para alcançar os objetivos propostos com qualidade e eficácia. Ao final do projeto, foram realizadas 15 Sprints no total.

3 I RESULTADOS E DISCUSSÕES

A aplicação foi desenvolvida utilizando a arquitetura cliente-servidor para a comunicação entre todos os seus componentes. O aplicativo funciona como cliente, enquanto a camada *server-side*, composta pelo Servidor da Aplicação e o Broker MQTT, atua como servidor. O hardware da aplicação opera tanto como cliente quanto como servidor: nas comunicações via internet com a camada *server-side*, funciona como cliente; já nas comunicações Bluetooth diretamente com o aplicativo, atua como servidor.

A arquitetura é composta por diversos componentes que interagem de forma física ou sem fio. A comunicação entre o hardware e o portão eletrônico ocorre por meio de fios, sensores e atuadores. Já a comunicação entre o aplicativo e o hardware é sem fio e pode ocorrer via Bluetooth ou pela internet, que é o modo padrão (Figura 1). A conexão Bluetooth é utilizada durante a configuração inicial do portão ou em situações em que a internet não está disponível. Mesmo assim, as operações realizadas via Bluetooth são sincronizadas

com o servidor assim que a conexão com a internet é restabelecida. Quando conectada à internet, a aplicação envia comandos de acionamento à camada server-side, que os repassa ao portão eletrônico.

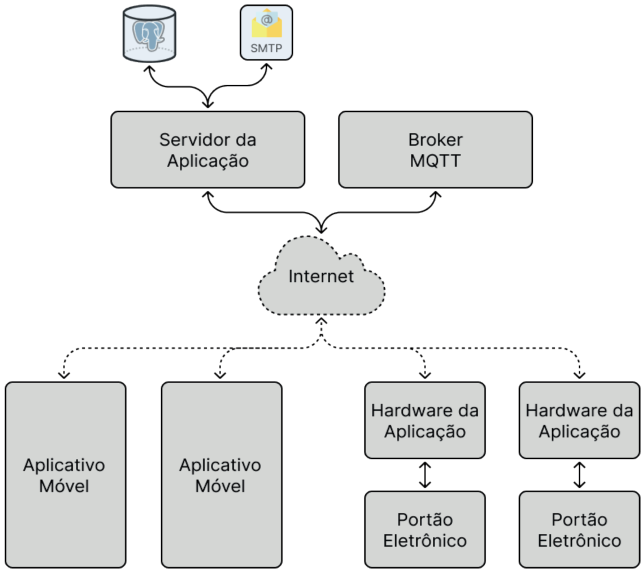


Figura 1 - Arquitetura Completa da Aplicação.

Fonte: Próprio autor, 2024.

Após ser acionado, o hardware registra a operação realizada no servidor. As informações registradas incluem o tipo de operação (abertura, fechamento, parada, acionamento), o portão acionado, o usuário responsável e a data e hora do acionamento. Esse histórico pode ser acessado posteriormente pelo aplicativo, que consulta os dados diretamente no servidor.

O aplicativo foi projetado para ser intuitivo e funcional, permitindo que os usuários configurem o portão, acessem informações sobre o funcionamento e realizem operações de abertura e fechamento. Conectado a uma API hospedada na internet, o aplicativo utiliza o protocolo HTTP e o formato JSON para a troca de dados. Essa integração garante autenticação segura, suporte a login e registro detalhado das operações realizadas.

A API também oferece funcionalidades para o gerenciamento de informações, como cadastro, consulta, atualização e exclusão de usuários, portões e localidades. Um recurso adicional é o envio automático de e-mails para novos usuários convidados, simplificando o processo de integração e fornecendo instruções claras para acessar o aplicativo e controlar o portão eletrônico. Todos os dados são armazenados com segurança em um banco de dados, assegurando integridade e alta disponibilidade.

Além disso, um Broker MQTT, hospedado na internet, atua como intermediário entre o aplicativo e o hardware do portão, utilizando o modelo de comunicação *publish-subscribe*.

Esse modelo, amplamente adotado em aplicações de Internet das Coisas (IoT), permite a transmissão eficiente de mensagens entre dispositivos, com suporte a recursos como segurança, qualidade de serviço (QoS) e retenção de mensagens.

3.1 Protótipo de Hardware

Inicialmente, foi desenvolvido um protótipo para realizar testes, com o objetivo de identificar o melhor arranjo de componentes e determinar os valores mais adequados para os componentes eletrônicos de cada funcionalidade do hardware. Após a definição do arranjo ideal, foi elaborado o diagrama esquemático da placa eletrônica.

Esse diagrama desempenhou um papel fundamental ao guiar o processo de construção da placa eletrônica definitiva. Por meio de símbolos padronizados, ele representa como os componentes do circuito eletrônico estão interligados, seus valores e suas características. Além disso, o diagrama serve como referência para análises e futuras otimizações, constituindo-se em um guia valioso ao longo de todo o ciclo de vida do projeto eletrônico. A Figura 2 apresenta o diagrama esquemático desenvolvido.

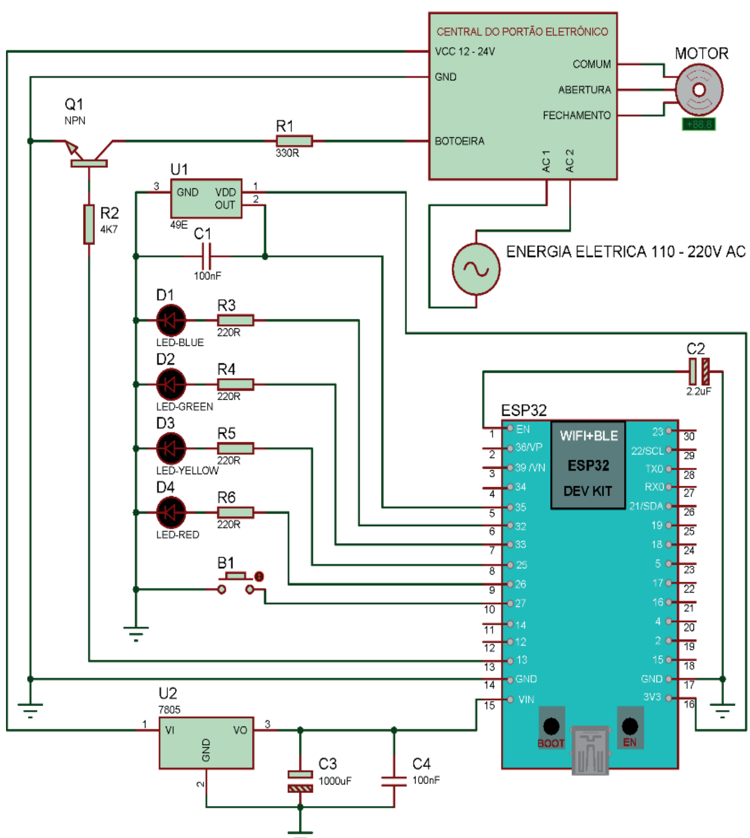


Figura 2 - Diagrama esquemático do hardware

Fonte: Próprio autor, 2024.

O principal componente do hardware é o microcontrolador ESP32, no qual o firmware desenvolvido é gravado. Para a alimentação elétrica, foi integrado ao circuito um regulador de tensão (U2), responsável por ajustar a tensão recebida da central do portão eletrônico ou de outra fonte externa para 5 volts, valor necessário para o funcionamento do ESP32. Essa tensão é estabilizada pelos capacitores C3 e C4. Além disso, foi incluído um botão (B1) para realizar o reset das configurações. A leitura do estado atual do portão é feita por meio de um sensor de efeito Hall linear (U1), em conjunto com o capacitor C1. A indicação do status de funcionamento do hardware é realizada por quatro LEDs indicadores (D1, D2, D3 e D4), cada um acompanhado por um resistor de limitação de corrente (R3, R4, R5 e R6). Para o acionamento da botoeira da central, utilizou-se um transistor (Q1) conectado aos resistores R1 e R2.

A montagem do hardware representou uma etapa crucial na concretização deste projeto. O processo começou com a seleção criteriosa de materiais e componentes, conforme detalhado na lista previamente elaborada, garantindo alinhamento com as necessidades e requisitos do projeto. Cada componente foi integrado ao circuito seguindo o arranjo previamente definido, assegurando a funcionalidade e o desempenho desejados. A atenção aos detalhes durante o processo de montagem não apenas garantiu a integridade do hardware, mas também estabeleceu as condições ideais para a eficiência e confiabilidade do sistema. Os componentes eletrônicos foram fixados na placa por meio de soldagem eletrônica, utilizando um ferro de solda aquecido a aproximadamente 300 ºC e fio de solda, composto por uma liga de estanho e chumbo.

Inicialmente, os terminais dos componentes eletrônicos foram inseridos nos orifícios da placa. Em seguida, o ferro de solda foi encostado junto ao fio de solda, posicionados entre o terminal do componente e o cobre do orifício da placa, para assegurar a união. Após a fixação de todos os componentes na placa, foram realizadas as trilhas que conectam os componentes entre si, seguindo o projeto do modelo esquemático. Por fim, os fios e o sensor magnético foram soldados, completando a montagem da placa eletrônica (ver Figura 3).

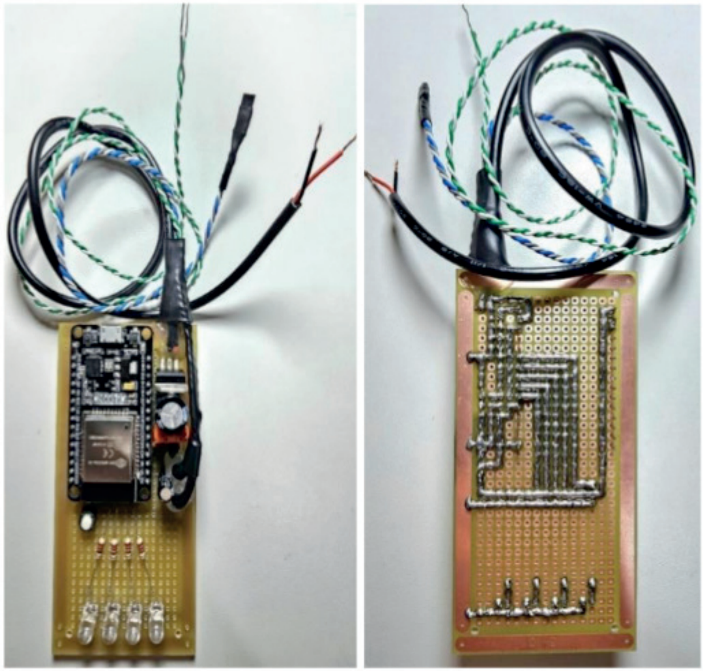


Figura 3 - *Hardware* finalizado.

Fonte: Próprio autor, 2024.

Com a conclusão deste processo, a placa eletrônica apresenta-se sólida e preparada para atender às demandas do projeto de forma consistente e confiável. A eficiência, qualidade e precisão empregadas em cada etapa de sua construção confirmam a viabilidade e o sucesso deste projeto eletrônico. Entretanto, ainda é necessário gravar no microcontrolador da placa o firmware desenvolvido, que constitui a inteligência responsável pelo funcionamento da placa. Essa etapa é fundamental para que o hardware execute as tarefas planejadas de acordo com as especificações definidas no projeto.

3.2 *Firmware* do Hardware

O firmware foi desenvolvido utilizando o framework ESP-IDF, fornecido pela própria fabricante do microcontrolador ESP32. Inicialmente, foi necessário configurar o ambiente de desenvolvimento, instalando o ESP-IDF e integrando-o ao VS Code. Com o ambiente devidamente configurado, deu-se início à codificação em linguagem C/C++, aproveitando as bibliotecas e APIs disponibilizadas pelo ESP-IDF. Essa etapa foi fundamental para configurar os pinos de entrada e saída do chip e integrar os componentes essenciais do sistema.

A lógica de controle foi implementada para interpretar as interações com o botão de reset, estabelecendo a funcionalidade de reinicialização da placa. Entretanto, o botão foi

inicialmente testado de maneira simplificada: um LED foi conectado aos fios de acionamento do portão, permitindo verificar tanto o funcionamento do botão quanto o envio do sinal de acionamento para a central do portão eletrônico.

Posteriormente, foi desenvolvido o algoritmo responsável por interpretar os dados do sensor magnético, permitindo a detecção precisa do estado do portão. Para validar esse algoritmo, foram criadas situações simuladas que representavam diferentes posições do portão. A simulação foi realizada utilizando um ímã de fim de curso, reproduzindo três cenários distintos: ímã distante do sensor, um dos polos do ímã próximo ao sensor e o outro polo do ímã próximo ao sensor (ver Figura 4).

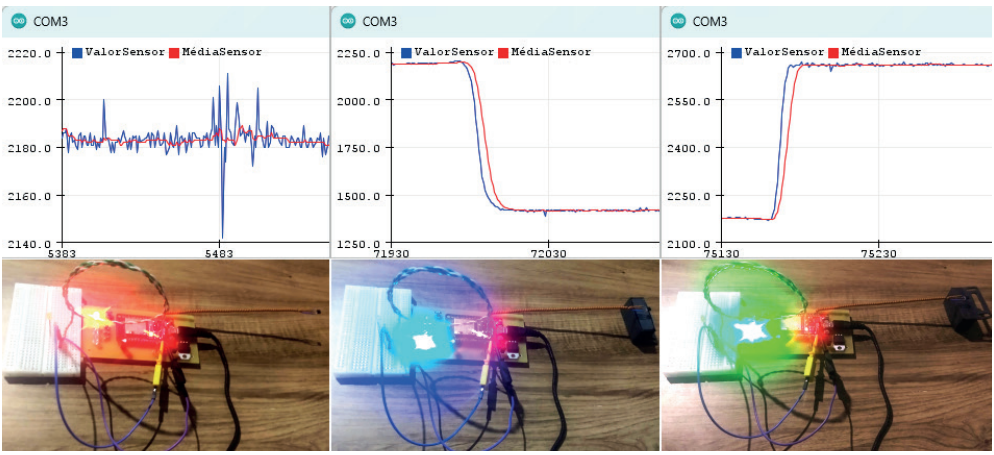


Figura 4 - Teste do sensor para obter o estado do portão.

Fonte: Próprio autor, 2024.

Conforme observado, para cada um dos três cenários de teste do sensor magnético, há uma representação gráfica da leitura obtida do sensor e a sinalização visual de cada estado do portão por meio de um LED de cor distinta na placa. Nos gráficos, a legenda apresenta duas cores de linha: a azul representa o valor obtido no momento da leitura do sensor, enquanto a vermelha indica a média de uma amostragem fixa dos últimos valores registrados.

Esses gráficos demonstram que a leitura direta do sensor, sem a aplicação de filtros, é suscetível a ruídos, um problema comum em dispositivos eletrônicos que pode resultar em funcionamento inadequado do firmware. Contudo, a aplicação da média das leituras solucionou essa questão de maneira eficaz. O microcontrolador foi configurado para interpretar as entradas do sensor em um intervalo de 0 a 4096, valor padrão do ESP32 para leituras de tensões analógicas. No primeiro cenário, com o ímã ausente, o portão está em estado parcialmente aberto, o LED vermelho acende, e o valor do sensor se aproxima de 2048, aproximadamente metade do intervalo permitido. No segundo cenário, o ímã está posicionado em um dos polos, representando o portão completamente aberto ou fechado,

dependendo da configuração definida, o LED azul acende, e o valor do sensor fica abaixo de 2048. No terceiro cenário, o ímã está no polo oposto, indicando o estado inverso do portão, o LED verde acende, e o valor do sensor excede 2048. Essas funcionalidades fundamentais — identificação do estado do portão, acionamento e reset do firmware — foram implementadas com sucesso.

Para possibilitar a troca de informações com outros dispositivos, foi necessário desenvolver módulos de comunicação, incluindo Bluetooth, Wi-Fi, HTTP e MQTT. Adicionalmente, foram criados módulos para gerenciamento de segurança, sincronização de dados e armazenamento persistente, entre outras funcionalidades essenciais.

Durante o processo de desenvolvimento, surgiu a necessidade de criar uma ferramenta que facilitasse os testes. A constante ativação de um portão físico real para ajustes e refinamentos poderia acarretar riscos e acelerar seu desgaste. Para mitigar essa situação, foi desenvolvida uma maquete que reproduz fielmente o funcionamento de um portão eletrônico deslizante, permitindo a realização de testes seguros e precisos (ver Figura 5).

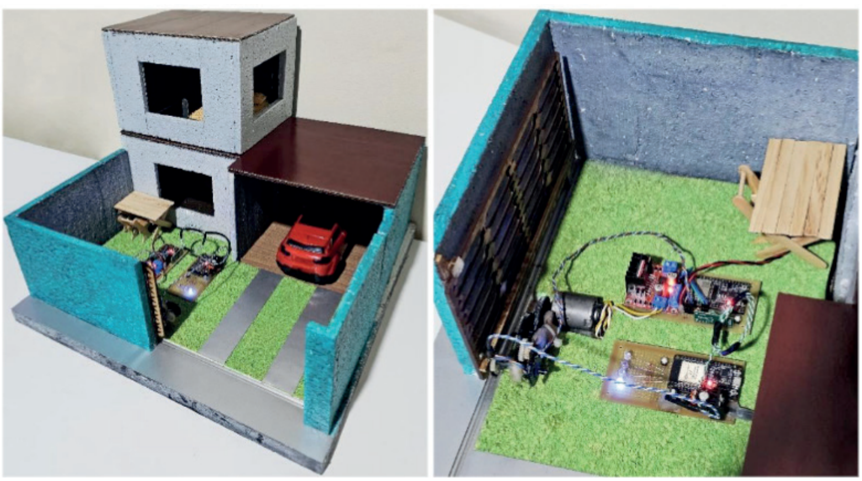


Figura 5 - *Hardware* ligado na réplica do portão eletrônico.

Fonte: Próprio autor, 2024.

A maquete desempenhou um papel crucial ao viabilizar a realização de testes de forma segura e precisa. Ao replicar o funcionamento de um portão eletrônico real, permitiu a simulação de diferentes cenários, essenciais para os refinamentos necessários na lógica do firmware e para a correção de bugs. No entanto, embora tenha sido valiosa nas etapas intermediárias, a validação final das funcionalidades do firmware foi realizada em um portão eletrônico real, garantindo que o sistema atendesse às condições práticas de operação.

Após a conclusão do desenvolvimento do firmware, iniciou-se o processo de gravação da versão definitiva no microcontrolador do hardware. Esse procedimento

marcou o encerramento de uma fase intensiva de trabalho, caracterizada pelo cuidado com a estabilidade e o correto funcionamento do sistema. Com a versão finalizada e testada, a gravação representou um ponto de transição para a implementação prática do firmware, incorporando as inovações e ajustes realizados durante o desenvolvimento.

3.3 Ligação do *Hardware* no Portão Eletrônico

Após a conclusão do desenvolvimento do hardware e do firmware, foi realizada a instalação do hardware no portão eletrônico. A Figura 6 ilustra claramente a diferença entre o sistema original e o resultado após a integração. No lado esquerdo, observa-se o motor do portão em sua configuração padrão, conectado por meio de fios à sua placa de controle, conhecida como central eletrônica. No lado direito, destaca-se o sistema atualizado, com o hardware desenvolvido neste projeto integrado à central eletrônica do portão.

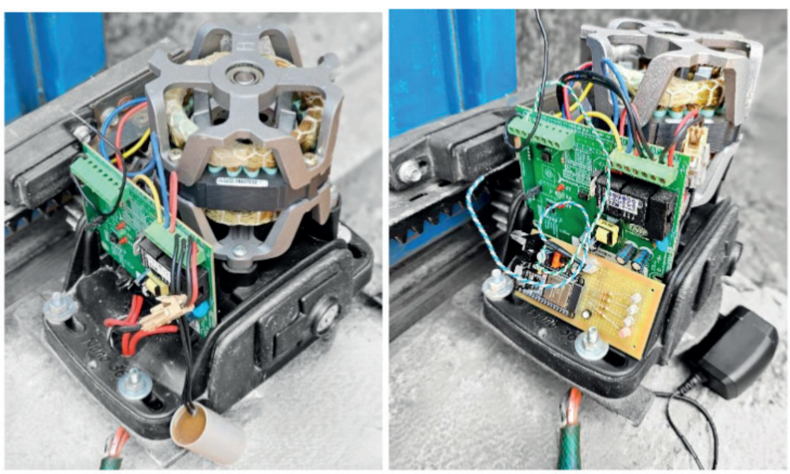


Figura 6 - Instalação do *hardware* no portão eletrônico

Fonte: Próprio autor, 2024.

O sensor magnético do hardware foi posicionado ao lado do sensor magnético original do portão eletrônico, permitindo que ambos compartilhem o mesmo status operacional do portão. Os fios de acionamento da botoeira da central foram conectados ao borne da central eletrônica, interligando o terminal negativo e o terminal de acionamento de ambas as placas.

Normalmente, as centrais eletrônicas dos portões possuem bornes que fornecem tensão de alimentação para componentes externos. Contudo, nem todas são capazes de fornecer corrente suficiente para operar novos componentes, especialmente aqueles com maior demanda energética. No caso específico do portão eletrônico utilizado neste projeto, foi identificado que sua central eletrônica poderia não fornecer a corrente necessária para

o funcionamento adequado do hardware desenvolvido.

Diante dessa limitação, optou-se por utilizar uma fonte de alimentação externa. Essa adaptação foi essencial para garantir a operação estável e segura do sistema. Assim, estabeleceu-se uma sinergia entre o novo hardware e a central eletrônica existente, agregando as funcionalidades idealizadas neste projeto e ampliando as capacidades do portão eletrônico.

3.4 Aplicativo Mobile

Ao abrir o aplicativo pela primeira vez, são solicitadas permissões essenciais para o acesso ao Bluetooth e à localização do dispositivo. Essas permissões são fundamentais para que o aplicativo funcione com todas as suas funcionalidades.



Figura 7 - Solicitação de permissões de acesso a recursos do sistema

Fonte: Próprio autor, 2024.

O Bluetooth é necessário para configurar um portão pela primeira vez e também é utilizado quando não há conexão com a internet, seja no smartphone do usuário ou no portão. Em situações em que a placa conectada ao portão eletrônico perde a conexão com a internet, ela não poderá receber comandos nem se comunicar com o servidor. Após a etapa inicial, é apresentada uma tela para que o usuário informe o endereço do servidor.

Para que o aplicativo funcione, ele deve estar conectado a uma máquina que hospede o servidor back-end do PortãoTech. O servidor é responsável por realizar a autenticação dos usuários e gerenciar os dados que podem ser inseridos, buscados, alterados ou

excluídos por meio de requisições HTTP. Por padrão, o endereço “portaotech.com.br” já vem preenchido, mas é possível utilizar outro endereço, caso necessário. Depois de informar o endereço do servidor, o usuário deve tocar no botão “Conectar” para estabelecer a conexão.

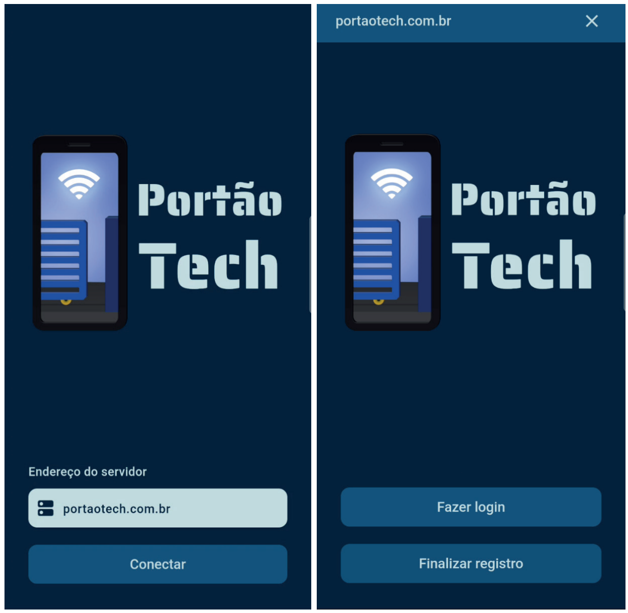


Figura 8 - Solicitação de permissões de acesso a recursos do sistema

Fonte: Próprio autor, 2024.

Se o aplicativo não estiver sendo aberto pela primeira vez, ele verifica automaticamente se há uma sessão de login ativa. Caso a sessão esteja ativa, a tela principal é exibida ao usuário. Se não houver uma sessão ativa, o aplicativo verifica se o endereço do servidor foi informado anteriormente. Caso o endereço exista, é apresentada uma tela com as opções “Fazer login” e “Finalizar registro”, permitindo que o usuário faça login, caso já tenha cadastro, ou finalize o registro, caso tenha sido convidado e esteja acessando pela primeira vez.

A finalização de registro é parte do processo de inclusão de novos usuários. Para que um usuário possa controlar os portões, é necessário que ele seja convidado previamente. O convite é enviado por e-mail, contendo instruções de acesso e um código de verificação. Ao acessar a tela de finalização de registro, é exibido um modal solicitando que o código de registro seja informado. O usuário deve inserir o código de seis dígitos recebido no e-mail e tocar no botão “Validar”.



Figura 9 - Telas de finalização de registro do usuário

Fonte: Próprio autor, 2024.

Se o código informado for inválido, uma mensagem de erro será exibida. Caso seja válido, o modal será fechado, e o usuário poderá preencher suas informações. Os campos solicitados são “Nome completo”, “Senha” e “Confirmação de senha”. Após preencher os campos, o usuário deve tocar no botão “Finalizar”. Se todas as informações forem registradas com sucesso, será exibida a tela de login, permitindo que o usuário acesse o sistema.

O acesso ao aplicativo é realizado por meio da tela de login, onde o usuário deve inserir o e-mail cadastrado e a senha definida no momento da finalização do registro. Para maior conveniência durante o preenchimento, o campo de senha conta com a funcionalidade de exibição ou ocultação do texto digitado, ativada por um botão localizado ao lado direito do campo. Em situações de erro no login, como a falta de conexão com a internet, indisponibilidade do servidor ou fornecimento incorreto de credenciais, o sistema apresenta mensagens informativas ao usuário. Uma vez que o login é realizado com sucesso, o usuário é automaticamente redirecionado à tela principal do aplicativo.

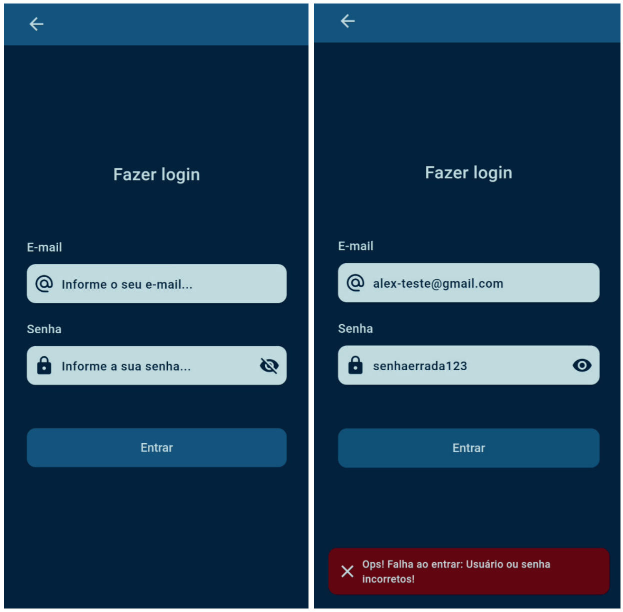


Figura 10 - *Login* do usuário

Fonte: Próprio autor, 2024.

A tela principal é o ponto central de operação do aplicativo e serve como interface primária para controle do portão eletrônico. Quando acessada, a aplicação verifica se havia algum portão sendo controlado na última utilização. Caso positivo, o aplicativo tenta restabelecer a conexão automaticamente com o mesmo portão, utilizando o tipo de conexão previamente empregado, seja internet ou Bluetooth. Se a tentativa inicial não for bem-sucedida, o aplicativo alterna para o outro tipo de conexão disponível. Quando a conexão automática é estabelecida com sucesso, os botões de controle do portão são apresentados na interface, permitindo ao usuário realizar ações de abertura, fechamento ou parada. No entanto, em cenários onde a conexão não é possível ou nenhum portão foi previamente controlado, o sistema exibe uma mensagem de notificação junto a um botão denominado “Conectar”. Este botão, ao ser acionado, apresenta ao usuário um diálogo modal que permite a seleção do portão a ser controlado. Adicionalmente, o menu principal, acessível por meio de um ícone no canto superior esquerdo da tela, oferece opções para outras funcionalidades do aplicativo.

A escolha do portão é realizada através de um modal que pode ser acessado de diferentes formas, permitindo flexibilidade ao usuário. Entre os métodos disponíveis, o modal pode ser acionado pelo botão “Conectar” na tela principal, quando nenhum portão está ativo; por uma opção localizada no menu principal; ou ainda, tocando no nome e na localidade do portão que está atualmente em uso. Essa abordagem proporciona agilidade na seleção, especialmente em cenários onde diversos portões estão cadastrados na aplicação.

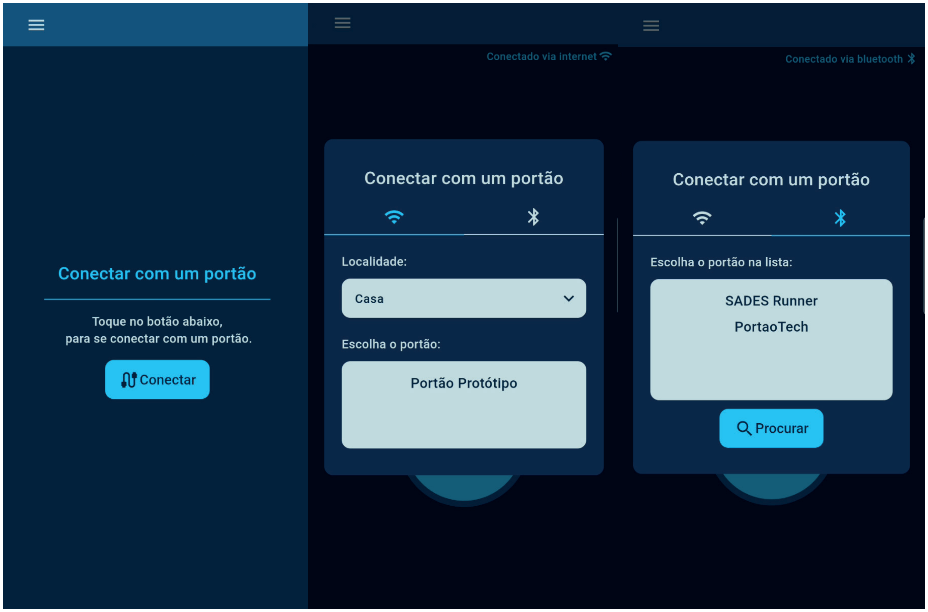


Figura 11 - Processo de conexão com um portão

Fonte: Próprio autor, 2024.

O aplicativo suporta dois métodos de conexão: internet e Bluetooth. A conexão via internet é priorizada por padrão, sendo apresentada como a opção inicial ao usuário devido à sua estabilidade e alcance. Já a conexão via Bluetooth é indicada como alternativa em situações de indisponibilidade de internet, seja no dispositivo do usuário ou no portão eletrônico. Para selecionar o tipo de conexão desejado, o usuário deve navegar entre abas representadas por ícones específicos na interface antes de escolher o portão.

O processo de conexão via internet requer que o usuário selecione primeiramente a localidade onde o portão está situado. Após a seleção, é apresentada uma lista de portões associados à localidade, permitindo ao usuário escolher o portão desejado para estabelecer a conexão. Por outro lado, a conexão via Bluetooth exige proximidade física com o portão eletrônico. Nesta modalidade, a interface apresenta inicialmente uma lista de dispositivos Bluetooth já pareados. Caso o portão desejado não esteja entre os dispositivos listados, o usuário pode acionar o botão “Procurar” para iniciar a descoberta de novos dispositivos. Após localizar o portão na lista, o usuário seleciona o dispositivo, estabelecendo a conexão.

Durante o processo de conexão, seja via internet ou Bluetooth, o sistema exibe uma mensagem informativa com 1 indicador de progresso circular, sinalizando a tentativa de estabelecimento da comunicação. Em caso de falha na conexão, o sistema notifica o usuário por meio de mensagens de erro detalhadas. Quando a conexão é bem-sucedida, o modal de seleção é fechado automaticamente, e os botões de controle do portão passam a ser exibidos na tela principal, permitindo o controle pleno do sistema.

A tela de controle dos portões eletrônicos foi projetada para oferecer aos usuários uma interface intuitiva e eficiente para gerenciar o acesso aos portões. A disposição da tela é dividida em seções distintas, cada uma com funcionalidades específicas, proporcionando uma experiência de uso fluida e de fácil navegação. No topo da tela, são apresentadas informações sobre o tipo e o status da conexão com o portão atual, representadas tanto de forma textual quanto por ícones gráficos. O status da conexão indica se a comunicação com o portão está ativa ou se houve perda de sinal, oferecendo ao usuário informações cruciais sobre o estado da interação com o sistema de controle do portão.

Logo abaixo da seção de status de conexão, são exibidos o “Nome do Portão” e o “Local” a que o portão pertence, como “Casa” ou “Trabalho”. Estas informações são essenciais para ajudar o usuário a identificar o portão correto, facilitando a seleção do dispositivo a ser controlado.

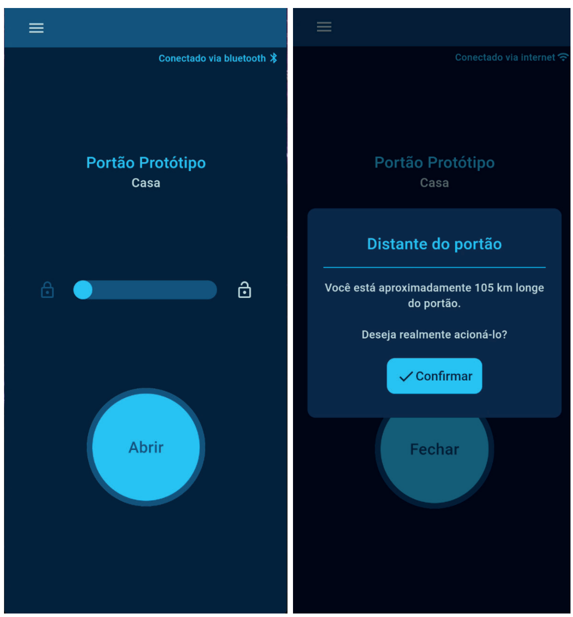


Figura 12 - Controlar um portão

Fonte: Próprio autor, 2024.

Após a conexão inicial com o portão, o sistema realiza uma verificação da distância entre o usuário e o portão por meio de coordenadas geográficas. Caso a distância entre os dois dispositivos exceda 100 metros, uma mensagem informativa é exibida, indicando a distância entre eles, como demonstrado na segunda tela da Figura 12. Este mecanismo visa aumentar a segurança, evitando acionamentos acidentais, como quando o celular é colocado no bolso desbloqueado ou se o usuário esquecer de escolher o portão correto. Para prosseguir com o acionamento do portão, o usuário deve confirmar a operação tocando no botão “Confirmar”.

Um dos principais controles do portão é o botão deslizante, que permite ao usuário definir precisamente o ponto de parada do portão. Ao segurar o botão deslizante, o usuário pode arrastá-lo até a posição desejada e soltá-lo para que o portão pare exatamente naquele ponto. Esse controle permite um ajuste proporcional da abertura do portão, com o movimento do botão deslizante para a direita abrindo o portão e para a esquerda fechando-o. Em posições intermediárias, o portão para proporcionalmente, permitindo um controle detalhado da abertura. Nas extremidades do botão deslizante, estão localizados ícones de cadeado fechado e aberto. Tocar no ícone do cadeado fechado aciona o fechamento do portão, enquanto o ícone do cadeado aberto aciona a abertura do portão.

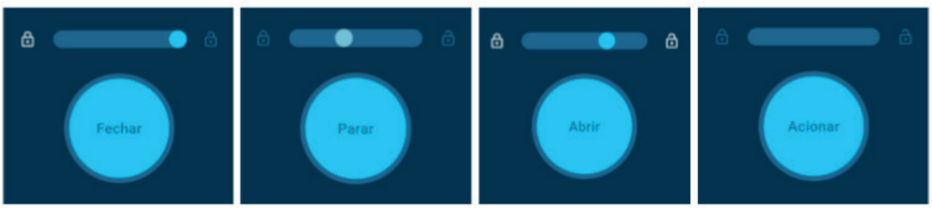


Figura 13 - Funcionamento dos botões de controle do portão

Fonte: Próprio autor, 2024.

Abaixo do botão deslizante, encontra-se o botão principal, um botão redondo de tamanho maior do que os outros controles. Este botão permite ao usuário realizar ações imediatas no portão, com a descrição da ação a ser realizada exibida de forma clara no centro do botão. As ações disponíveis incluem “Abrir”, “Fechar”, “Parar” e “Acionar”. Esse botão principal oferece uma alternativa direta e prática ao controle do portão, permitindo que o usuário execute funções com um único toque, sem a necessidade de arrastar o botão deslizante.

De maneira geral, a tela de controle de portões oferece uma interface amigável e eficiente para os usuários, permitindo o controle preciso da abertura, fechamento e parada do portão, além de fornecer informações importantes sobre o status da conexão e o portão em operação. Com essa interface, os usuários podem gerenciar suas portas eletrônicas de forma segura e com total controle sobre a situação operacional do sistema.

O menu principal do aplicativo é acessado ao tocar no ícone de três linhas horizontais localizado no canto superior esquerdo da tela principal. Este menu foi projetado para oferecer uma navegação intuitiva e organizada, permitindo que o usuário acesse rapidamente as funcionalidades do sistema. Na parte superior do menu, encontra-se o botão “Voltar”, que possibilita fechar o menu e retornar à tela principal do aplicativo. Essa funcionalidade visa garantir uma transição prática entre o menu e a tela principal. Abaixo do botão “Voltar”, é exibido o nome do usuário logado, identificando claramente a conta ativa no momento.

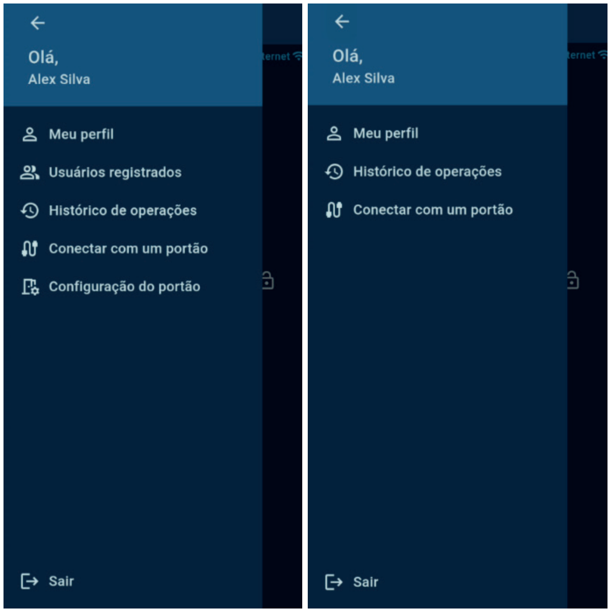


Figura 14 - Menu principal

Fonte: Próprio autor, 2024.

Na parte central do menu, encontra-se uma lista de funcionalidades que varia de acordo com o tipo de usuário. Para usuários comuns, classificados como “Padrão”, as opções incluem “Meu perfil”, “Histórico de operações” e “Conectar com um portão”. Já para usuários com privilégios de administrador, além das funcionalidades disponíveis para o usuário “Padrão”, são apresentadas opções adicionais, como “Usuários registrados” e “Configuração do portão”. Na parte inferior do menu, está localizado o botão “Sair”, que permite ao usuário encerrar a sessão ativa de forma segura e eficiente.

A tela de perfil do usuário é acessível através do menu principal e foi desenvolvida para permitir a visualização e edição de informações pessoais. Nessa tela, o usuário pode gerenciar dados como nome, e-mail e privilégio, além de optar por excluir sua conta, caso deseje. Ao abrir a tela de perfil, os dados do usuário são exibidos imediatamente, mas o botão “Salvar” permanece desabilitado até que seja realizada alguma alteração nos campos disponíveis.

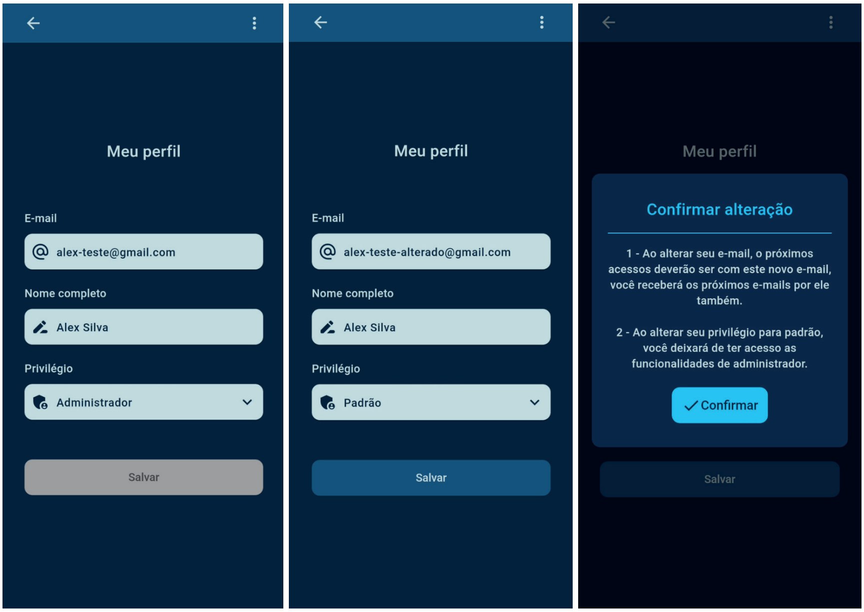


Figura 15 - Perfil do usuário (Visualização, edição e confirmação de edição)

Fonte: Próprio autor, 2024.

Os campos disponíveis para edição incluem: “E-mail”, que corresponde ao endereço eletrônico utilizado no registro e login, mas que pode ser atualizado; “Nome completo”, que identifica o usuário na aplicação; e “Privilégio”, que permite alterar o nível de acesso do usuário entre “Padrão” e “Administrador”. Ao realizar alterações em qualquer um desses campos, o botão “Salvar” é habilitado, permitindo confirmar as modificações realizadas. Para alterações no e-mail ou privilégio, o sistema exibe um diálogo informativo com orientações importantes. No caso da alteração de e-mail, os futuros e-mails da aplicação serão enviados para o novo endereço, e os logins subsequentes deverão ser realizados com o e-mail atualizado.

Além da edição, o aplicativo oferece a funcionalidade de exclusão de perfil, permitindo que o usuário encerre definitivamente sua conta. Para isso, o usuário deve acessar o ícone de opções no canto superior direito da tela de perfil. Ao selecionar a opção “Excluir perfil”, um diálogo é exibido, alertando sobre as consequências da ação, como a perda de acesso à aplicação e aos dados associados. Caso o usuário confirme a exclusão tocando em “Confirmar”, o aplicativo procede com a exclusão do perfil e exibe uma mensagem de sucesso. Se o usuário decidir não prosseguir, basta tocar fora do diálogo ou utilizar o botão de voltar do dispositivo para cancelar a operação.

A tela de usuários registrados oferece funcionalidades que permitem visualizar, convidar novos usuários para o aplicativo e gerenciar o acesso dos usuários existentes. A lista exibida nessa tela contém os usuários já cadastrados no sistema, sendo que cada item

da lista apresenta as seguintes informações: nome, privilégio e status. O nome identifica o usuário no aplicativo, enquanto o privilégio pode ser “Padrão” ou “Administrador”, sendo este último com permissões adicionais para gerenciar portões e outros usuários. O status indica se o usuário está habilitado para utilizar o aplicativo, podendo assumir os valores “Ativo” ou “Inativo”.

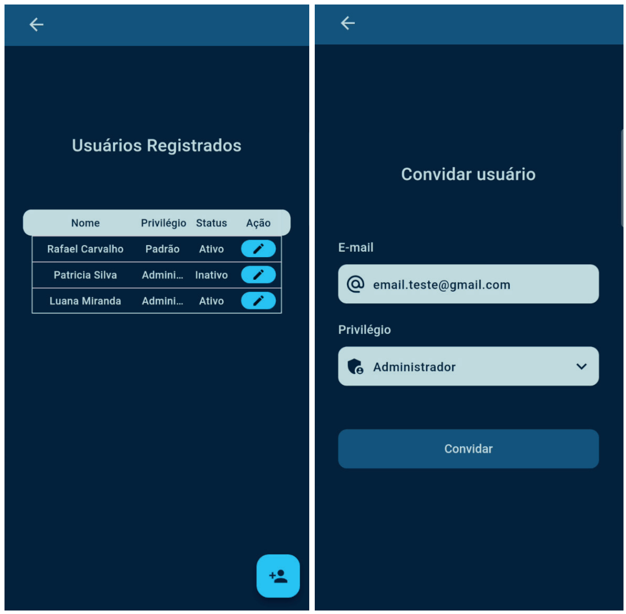


Figura 16 - Tela de usuários registrados e tela para convidar novos usuários

Fonte: Próprio autor, 2024.

No canto inferior direito da tela de usuários registrados, encontra-se um botão destinado a abrir a tela de convite de novos usuários. Nessa tela, o administrador deve informar o e-mail do usuário convidado e o privilégio que ele terá ao finalizar seu registro. O sistema, então, envia um e-mail ao usuário convidado contendo um código de registro e instruções para a finalização de seu cadastro. Após o registro, o novo usuário estará apto a controlar e gerenciar os portões disponíveis no aplicativo.

Cada item da lista de usuários registrados contém um botão de ação, representado por um ícone de lápis, que permite acessar a tela de controle de acesso. Nesta tela, é possível modificar o privilégio do usuário entre “Administrador” e “Padrão”, bem como alterar seu status para “Ativo” ou “Inativo”. Qualquer alteração realizada habilita o botão “Salvar”, e, ao confirmá-la, o acesso do usuário é atualizado. Para excluir um usuário, basta acessar o ícone de opções localizado no canto superior direito da tela de controle de acesso. A opção “Remover usuário” apresenta um diálogo de confirmação, alertando que a ação é irreversível. Uma vez confirmada, o perfil é excluído, e uma mensagem de sucesso é exibida. Após a exclusão, o sistema retorna automaticamente para a tela de usuários

registrados.

Adicionalmente, o aplicativo permite que os usuários visualizem as operações realizadas por eles mesmos ou por outros usuários, como abrir, fechar, abrir parcialmente, fechar parcialmente ou acionar o portão. A tela responsável por essa funcionalidade apresenta um filtro e uma lista com detalhes das operações realizadas. O filtro permite ao usuário escolher entre visualizar apenas suas próprias operações, utilizando a opção “Apenas o meu”, ou todas as operações, por meio da opção “De todos”.

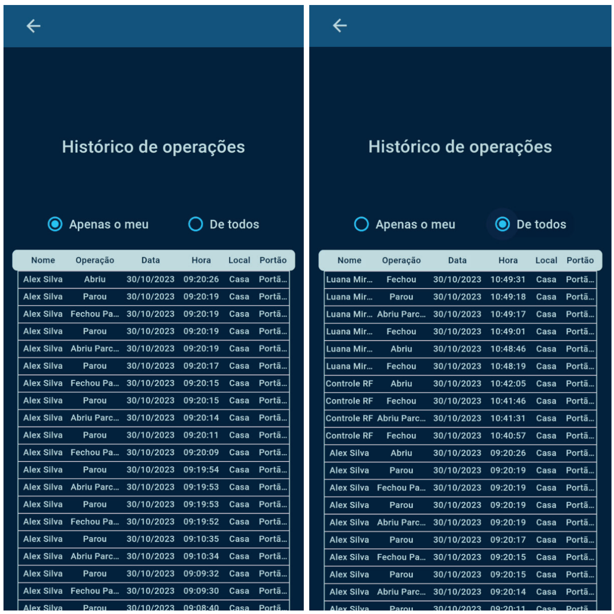


Figura 17 - Telas com detalhes das operações realizadas pelo portão

Fonte: Próprio autor, 2024.

A lista de operações é exibida em ordem decrescente, com as operações mais recentes apresentadas primeiro. Cada item na lista contém o nome do usuário que realizou a operação, o tipo de operação, a data, a hora, o local e o nome do portão. Essa funcionalidade contribui para o monitoramento e a identificação de possíveis problemas ou irregularidades, como portões que não foram fechados corretamente, proporcionando maior controle e segurança.

A tela de configurações do aplicativo é projetada para organizar as configurações dos portões de maneira intuitiva, utilizando abas específicas para cada conjunto de parâmetros. A aba “Conexão” permite personalizar parâmetros de conexão, como o endereço do servidor, o SSID e a senha da rede local, elementos essenciais para que o portão se conecte à internet e ao servidor.

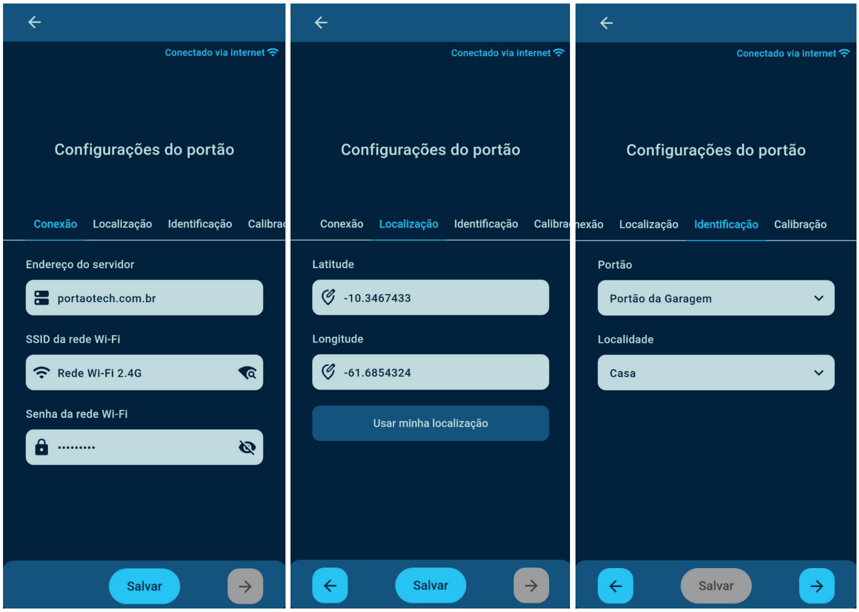


Figura 18 - Tela de configurações do portão

Fonte: Próprio autor, 2024.

Na aba “Localização”, o usuário pode visualizar e definir as coordenadas de “Latitude” e “Longitude” do portão. Um botão chamado “Usar minha localização” possibilita o preenchimento automático desses campos com base na localização atual do dispositivo. A aba “Identificação” permite a personalização do nome e da localidade do portão, facilitando sua identificação no sistema. Por fim, a aba “Calibração” é dedicada à configuração de parâmetros internos relacionados ao funcionamento do portão, incluindo a medição do tempo necessário para abrir ou fechar completamente, além de associar os estados do portão aos sinais do sensor.

4 I CONCLUSÃO

Em síntese, a pesquisa e o desenvolvimento desta aplicação com protótipo, para o gerenciamento de portões eletrônicos deslizantes representam um avanço significativo na modernização do acesso à tecnologia de automação residencial. Os objetivos propostos foram plenamente alcançados por meio de um processo meticuloso e contínuo, que envolveu desde a revisão das tecnologias de Internet das Coisas (IoT) até a implementação de um sistema funcional.

O projeto do protótipo iniciou-se com a revisão das tecnologias IoT, que forneceu as bases necessárias para o desenvolvimento das soluções propostas. A etapa de desenvolvimento do protótipo de hardware concentrou-se na integração com a placa

controladora do portão eletrônico, visando aprimorar suas funcionalidades. Simultaneamente, o firmware foi desenvolvido para estabelecer a comunicação eficiente entre o hardware e o sistema do portão. O aplicativo móvel foi projetado e testado detalhadamente, assegurando sua funcionalidade e facilidade de uso. Por fim, o servidor da aplicação foi concebido para garantir uma comunicação robusta entre os dispositivos móveis e o sistema do portão eletrônico.

O processo completo, que envolveu desde a concepção até a implementação, resultou em melhorias notáveis na acessibilidade e no controle dos portões eletrônicos. A escolha do microcontrolador ESP32, fundamentada em sua eficiência de custo e suporte a múltiplas conexões sem fio, demonstrou ser uma solução resiliente, apta a operar em condições adversas de conectividade. Ao superar as limitações de sistemas preexistentes, a solução proposta não apenas aprimora as funcionalidades dos portões eletrônicos, como também introduz novos recursos, incluindo abertura parcial dinâmica, controle de acesso, status em tempo real e histórico detalhado de operações.

Ao alinhar eficiência operacional, acessibilidade e simplicidade de uso, a aplicação desenvolvida não apenas otimiza a gestão de portões eletrônicos, mas também redefine a experiência do usuário. O controle intuitivo por dispositivos móveis elimina a necessidade de aquisição de controles físicos adicionais, simplificando a configuração e o gerenciamento de usuários. Nesse contexto, o presente trabalho representa um paradigma inovador na interação cotidiana com tecnologias residenciais.

Perspectivas futuras incluem a implementação de novas funcionalidades para aprimorar ainda mais a experiência do usuário e ampliar a versatilidade do sistema. Uma extensão relevante seria a integração de um sistema de alertas no aplicativo, informando os usuários sobre o funcionamento regular do portão e notificando imediatamente sobre possíveis defeitos. Essa funcionalidade aumentaria a segurança e a confiabilidade do sistema, permitindo intervenções rápidas em caso de problemas.

Outra possibilidade de expansão seria a inclusão de uma interface para apresentação de estatísticas operacionais do portão, com gráficos que favoreçam análises detalhadas, como horários de pico, frequência de uso e métricas de desempenho. Além disso, a criação de uma funcionalidade para configurar a abertura e o fechamento automáticos do portão, ajustados a dias e horários específicos, permitiria maior comodidade e automação. Essas melhorias agregariam valor substancial ao projeto, elevando sua funcionalidade e usabilidade a níveis ainda mais práticos e abrangentes.

REFERÊNCIAS

CARVALHO, A.; LORENA, A. **Introdução à Computação: Hardware, Software e Dados.** 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2017.

CASTRO FILHO, J.; FREIRE, R.; MAIA, D. **Estudo de Caso como método de pesquisa em Informática na Educação**. In: PIMENTEL, Mariano; SANTOS, Edméa. (Org.), Metodologia de pesquisa científica em Informática na Educação: abordagem qualitativa. Porto Alegre: SBC, 2021. Série Metodologia de Pesquisa em Informática na Educação, v. 3. Disponível em: https://metodologia.ceie-br.org/livro-3/

FERRARI, A. *et al*. **Indústria 4.0 e Sustentabilidade: Uma Aplicação da Internet das Coisas (IoT) na Proteção Ambiental**. In: ENSUS, 9., 2021, Florianópolis. Conferência [...], Florianópolis: UFSC, 2021. p. 21 – 36. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/228929

MORAES, J. **Tecnologia da Informação, Sistemas de Informações Gerenciais e Gestão do Conhecimento com Vistas à Criação de Vantagens Competitivas: Revisão de Literatura**. Revista Visão: Gestão Organizacional, Caçador (SC), Brasil, v. 7, n. 1, p. 39-51, 2018. DOI: 10.33362/visao.v7i1.1227. Disponível em: https://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/visao/article/view/1227

PROETTI, S. **As pesquisas qualitativa e quantitativa como métodos de investigação científica: Um estudo comparativo e objetivo**. Revista Lumen, [s.l.], v. 2, n. 4, 2018. Disponível em: http://www.periodicos.unifai.edu.br/index.php/lumen/article/view/60

ROCHA JÚNIOR, B. **Projeto de Automação Residencial com a Utilização do Arduino.** 2014. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação de Tecnologia em Automação Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procópio, 2014. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/27314/1/CP_COAUT_2014_1_05.pdf

SANTOS, J.; LARA JUNIOR, R. **Sistema de Automação Residencial de Baixo Custo Controlado Pelo Microcontrolador ESP32 e Monitorado Via Smartphone.** 2019, 46 f. TCC (Tecnólogo em Automação Industrial) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019. Disponível em: http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/16960

SCHWABER, K.; SUTHERLAND, J. **Guia do Scrum: O Guia Definitivo para o Scrum: As Regras do Jogo.** 2020. Disponível em: https://scrumguides.org/docs/scrumguide/v2020/2020-Scrum-Guide-PortugueseBR-2.0.pdf

AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE UM NANOCOMPÓSITO POLIMÉRICO DE ÓXIDO DE GRAFENO

Data de submissão: 29/10/2024 *Data de aceite: 02/01/2025*

Ticiana de Oliveira Santiago
Instituto Federal da Bahia (IFBA)
Salvador - Bahia
http://lattes.cnpq.br/1627663966632777

Débora da Silva Oliveira
Instituto Federal da Bahia (IFBA)
Salvador - Bahia

Brenno Lavigne Diniz
Instituto Federal da Bahia (IFBA)
Salvador - Bahia
http://lattes.cnpq.br/5533773988600736

Ivan Costa da Silva
Instituto Federal da Bahia (IFBA)
Salvador – Bahia
http://lattes.cnpq.br/4865445293974312

Cláudia Teresa Teles Farias
Instituto Federal da Bahia (IFBA)
Salvador – Bahia
http://lattes.cnpq.br/1613042126288981

Luiz Antonio Pimentel Cavalcanti
Instituto Federal da Bahia (IFBA)
Salvador – Bahia
http://lattes.cnpq.br/3133485457754481

RESUMO: O setor de embalagens plásticas é um dos setores que mais contribui com a produção total de plástico que em sua maioria é proveniente de fontes não renováveis, não biodegradáveis. Diante deste problema, discute-se a utilização de biopolímeros combinados a reforços para criar nanocompósitos que possam competir com os plásticos convencionais. O objetivo desse trabalho foi produzir filmes plásticos biodegradáveis, cuja propriedades mecânicas sejam semelhantes aos plásticos tradicionais. Para isso o óxido de grafeno (OG) foi disperso, por técnica *casting,* em uma matriz biopolimérica constituída por amido termoplástico (TPS) visando a obtenção de filmes com boas propriedades mecânicas. A síntese do OG foi realizada pela técnica de Hummers modificada e utilizou-se MEV e FTIR para caracterização do material. A primeira técnica mostrou as estruturas em forma de folhas e a segunda técnica evidenciou a presença de grupos oxigenados, ambas as características confirmam a síntese do OG. Os bionanocompósitos produzidos foram reforçados com 0,5%, 1,0%, 1,5% e 2,0% de OG foram caracterizados quanto à espessura, opacidade, dispersão do óxido de grafeno e tempo de resistência à carga. A dispersão do OG no TPS foi avaliada através do MEV, no qual foi possível

observar que os filmes contendo 0,5% e 2,0% de óxido grafeno formaram uma única fase, já os filmes com 1,0% e 1,5% de OG foi possível notar a presença de pequenas agulhas.
PALAVRAS-CHAVE: Óxido de grafeno, amido, bionanocompósitos, propriedades mecânicas.

EVALUATION OF THE MECHANICAL PROPERTIES OF A GRAPHENE OXIDE POLYMERIC NANOCOMPOSITE

ABSTRACT: The plastic packaging sector is one of the main contributors to the total production of plastic, most of which comes from non-renewable, non-biodegradable sources. Given this problem, the use of biopolymers combined with reinforcements to create nanocomposites that can compete with conventional plastics has been discussed. The objective of this article was to produce biodegradable plastic films with mechanical properties similar to traditional plastics. To achieve this, graphene oxide (GO) was dispersed using the casting technique into a biopolymeric matrix made of thermoplastic starch (TPS) to obtain films with good mechanical properties. The synthesis of GO was carried out using the modified Hummers method, and SEM and FTIR techniques were employed for material characterization. The first technique revealed a sheet-like structure, while the second showed the presence of oxygenated groups, confirming the synthesis of GO. The bionanocomposites produced were reinforced with 0.5%, 1.0%, 1.5%, and 2.0% GO and characterized in terms of thickness, opacity, graphene oxide dispersion, and load resistance time. The dispersion of GO in TPS was evaluated through SEM, which showed that the films containing 0.5% and 2.0% graphene oxide formed a single phase, while films with 1.0% and 1.5% GO exhibited small needle-like structures.
KEYWORDS: Graphene oxide, starch, bionanocomposites, mechanical properties.

INTRODUÇÃO

O plástico é um tipo de polímero que pode ser facilmente moldado após a aplicação de pressão e calor. Trata-se de um material de alta versatilidade e vasta gama de aplicação devido às suas características como baixa massa, resistência química e física. Essas propriedades fizeram com que o plástico fosse substituindo gradativamente materiais como o aço e o vidro (Wiesenhütter *et al.*, 2021) na fabricação de peças automotivas e de materiais de construção, por exemplo. No setor de embalagens, o plástico também encontra grande espaço e traz uma grande preocupação, pois o seu uso majoritário é de aplicação única, o que contribui para o aumento da geração de resíduos sólidos.

Em 2018, o Brasil gerou cerca de 79 milhões de toneladas de resíduos, que, segundo dados do Sindicato Nacional das Empresas de Limpeza Urbana (SELURB), 13,5% correspondem a resíduos plásticos (Zamora *et al.*, 2020). Um outro fator preocupante é que a maior parte das matérias-primas utilizadas na síntese dos plásticos são provenientes de fontes fósseis, por isso a única forma de eliminar os resíduos plásticos é através da pirólise ou da combustão (Geyer *et al.*, 2017). Uma vez que os resíduos plásticos são dispostos em aterros sanitários ou descartados nos oceanos podem trazer diversos problemas ambientais, como contaminação de sistemas de água doce, morte de animais marinhos e

alterações no ecossistema dos solos (Geyer *et al.*, 2017).

Uma das soluções frequentemente pensadas para diminuir o impacto dos resíduos de materiais plásticos é a reciclagem. No entanto, apenas uma pequena parcela do plástico é reciclada, de 25 milhões de toneladas de resíduos plásticos produzidos na Europa em 2014, somente cerca de 29,7% foi reciclada (Ragaert *et al.*, 2017). Isso pode estar diretamente relacionado com a dificuldade na separação correta dos resíduos, a falta de uma logística reversa eficiente e o baixo valor agregado do produto reciclado. Outro fator a ser considerado é a limitação do sistema de reciclagem. Estudos apontam que em 2025, a produção de plástico deve alcançar cerca de 600 milhões de toneladas por ano e certamente a reciclagem não conseguirá dar conta desse alto volume (Zamora *et al.*, 2020).

Uma outra solução que vem sendo bastante discutida é a modificação da matéria-prima de produção do plástico para um material renovável e biodegradável, os biopolímeros. Nesse sentido o amido ganha bastante espaço por ser um material disponível na natureza e de custo acessível (Ferreira *et al.*, 2017). O amido é constituído por dois tipos de polímeros de glicose: a amilose e a amilopectina, que possuem estruturas e funções distintas (Silva, 2013). Ao submeter o amido juntamente com um plastificante (geralmente o glicerol) a um tratamento térmico e/ou mecânico temos a formação do amido termoplástico (do inglês *thermoplastic starch* - TPS) que é aplicado na fabricação de materiais plásticos biodegradáveis. A limitação na aplicação desse material é devida às suas baixas propriedades mecânicas quando comparado aos plásticos tradicionais. Por este motivo, tem-se buscado o desenvolvimento de materiais que quando misturados ao amido termoplástico possam conferir boas propriedades mecânicas.

A combinação de materiais visando a melhoria de uma ou mais propriedades leva ao que conhecemos como compósitos (Callister, 2002). Quando o tamanho das partículas da fase dispersa é da ordem de nanômetros e a matriz é biodegradável temos um bionanocompósito. O grafeno é uma nanopartícula que vem sendo muito estudada na área dos nanocompósitos.

O grafeno e seus derivados (óxido de grafeno e óxido de grafeno reduzido) são nanocargas bidimensionais (2D), com espessura planar de um átomo (1 nm) (Ferreira, 2017) que possuem elevadas áreas superficiais (2.630 m^2/g), excelentes propriedades mecânicas (como por exemplo, o módulo de Young a 1TPa), boa condutividade elétrica (1.000 S/cm) além de garantir uma melhoria nas propriedades de barreiras quando adicionados a matriz polimérica (Medeiros, 2019). Devido a todas essas características o grafeno e seus derivados são materiais promissores na constituição de compósitos poliméricos.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a dispersão e resistência mecânica de diferentes taxas do óxido de grafeno inseridos na matriz polimérica de amido termoplástico (TPS) utilizando a técnica *casting*.

METODOLOGIA

SÍNTESE E PURIFICAÇÃO DO ÓXIDO DE GRAFENO

A síntese do óxido de grafeno (OG) foi realizada a partir de adaptações da metodologia proposta por Hummers e Offerman (1958), que se baseia em esfoliação química. O grafite em pó puro (98% de grafite e 1% de cinza) da marca Synth® é misturado junto com reagentes que irão promover a oxidação do sólido, formando uma solução que irá passar por um processo de purificação. Após processos de decantação e lavagem com água destilada até atingir um pH igual a 5,5, a solução é levada à um banho ultrassônico para que seja promovida a esfoliação mecânica e formação da suspenção aquosa (Pinto, *et al.*, 2022).

CONCENTRAÇÃO DO ÓXIDO DE GRAFENO

O óxido de grafeno obtido estava na forma de suspensão. Portanto, para determinar a concentração do OG foi necessário tomar alíquotas de 10mL da suspensão homogeneizada, colocar em placa Petri de massa conhecida, medir a massa da placa Petri juntamente com a suspensão. O conjunto foi posto em estufa de secagem com circulação de ar por 3h a 150°C. Aguardou-se o resfriamento da amostra e, pesou-se novamente o conjunto placa Petri e óxido de grafeno para que a concentração da suspensão pudesse ser estimada. Esse processo foi realizado em quadruplicata e concentração da suspensão foi representada pela média aritmética.

CARACTERIZAÇÃO DO ÓXIDO DE GRAFENO

As imagens de MEV das amostras do óxido de grafeno sólido e previamente seco foram obtidas para avaliar a formação das monocamadas e o grau de esfoliação. Para isso foi utilizado um Microscópio de Varredura Eletrônica Tescan ® modelo LMU VEGA 3. A voltagem de aceleração utilizada foi de 25kV. As imagens obtidas foram comparadas com a literatura.

Já os espectros de infravermelho do grafite e do óxido de grafeno foram obtidos para analisar as absorções características dos grupos funcionais oxigenados. Para realizar a análise foi necessário macerar uma pequena quantidade de cada amostra, dispersá-la em cloreto de potássio e pressionar a mistura em folhas transparentes. Essa caracterização foi feita em um espectrofotômetro da marca Perkin-Elmer® modelo *Spectrum Two*, cuja faixa de comprimento de onda variaram de 4000 cm^{-1} a 400 cm^{-1}.

SÍNTESE DOS NANOCOMPÓSITOS POLIMÉRICOS

Os filmes poliméricos foram obtidos através de adaptações da metodologia adotada

por Ma, Chang, Zheng e Ma (2013).

Estes foram sintetizados nas concentrações de 0; 0,5; 1,0; 1,5 e 2% de OG em amido. Utilizou-se diferentes volumes da suspensão de OG e completou-se o volume com água destilada até 200 mL. Para o caso das misturas com o reforço, as alíquotas de OG foram levadas para banho ultrassônico por 10 minutos antes de passar pelo processo de mistura e aquecimento.

Paralelamente, foram dissolvidos 10g de amido em água destilada, adicionou-se 3,0 g de glicerol PA e a suspensão de óxido de grafeno. O sistema foi aquecido por 20 minutos a 70°C sob agitação de aproximadamente 250 rpm utilizando um impelidor do tipo hélice. Os produtos das sínteses foram colocados em placas Petri e mantidos por 3h a 65°C em uma estufa com circulação de ar.

ESPESSURA DOS FILMES

A espessura (ε) dos filmes foi determinada através de um paquímetro digital da marca Pantec®. Foram realizadas 5 medições de diferentes posições do corpo de prova e a espessura final foi tomada como a média aritmética das medições para cada filme (Marques, 2018).

MICROSCOPIA DE VARREDURA ELETRÔNICA DOS FILMES

As imagens de MEV da área de superfície dos filmes biopolímericos foram obtidas para investigar a interação entre o óxido de grafeno e a matriz polimérica, assim como a dispersão das nanopartículas. As amostras foram previamente mantidas em estufa por 1h a 65°C, posteriormente foram revestidas com ouro usando uma voltagem de aceleração de 5kV (Afshar, 2017). O teste foi feito utilizado o Microscópio de Varredura Eletrônica Tescan® modelo LMU VEGA 3.

OPACIDADE

A opacidade dos filmes foi obtida através da metodologia adaptada de Santos (2016). As amostras foram cortadas na dimensão de 1 cm x 5 cm, colocadas em cubetas de vidro e postas em um espectrofotômetro da marca Bel® modelo UV – M51 para medir a luz transmitida a 600 nm. A opacidade dos filmes foi calculada pela Equação 1.

$$OI = -(\log T600)/\varepsilon \quad \text{(Equação 1)}$$

Na qual T600 é a transmitância a 600nm e ε é a espessura do filme.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

ÓXIDO DE GRAFENO: SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO

A suspensão de óxido de grafeno obtida através do método de Hummers e Offeman (1958) pode ser visualizada na Figura 1.

Segundo Hummers e Offeman (1958) a coloração da suspensão obtida durante a síntese pode ser usada como um critério da taxa de oxidação do grafeno. Um produto rico em óxido de grafeno apresentará uma coloração amarela. Durante a síntese obtive-se uma suspensão amarelada, por isso, considerou-se que a suspensão obtida é composta majoritariamente por óxido de grafeno. Considerando que todo sólido é composto por óxido de grafeno a concentração do mesmo na suspensão corresponde a 0,0168 ± 0,0009 g/mL (Tabela 1).



Figura 1 Suspensão de óxido de grafeno. (Fonte: Acervo próprio)

Amostra	Massa da placa (g)	Massa da placa + suspensão (g)	Massa pós secagem (g)	Massa da suspensão (g)	Massa de OG (g)	Concentração da suspensão (g/mL)
1	36,6920	49,3405	39,8488	9,6485	0,1568	0,0157
2	39,1479	48,8064	36,3150	9,6585	0,1671	0,0167
3	38,6486	48,3657	38,8223	9,7171	0,1737	0,0174
4	38,9575	48,6673	39,1336	9,7098	0,1761	0,0176
				Média	0,1684	0,0168
				Desvio padrão	0,0086	0,0009

Tabela 1 Concentração do óxido de grafeno na suspensão. (Fonte: Autoria própria)

As imagens de MEV para o óxido de grafeno podem ser vistas nas Figuras 2 e 3, onde podemos notar uma estrutura em forma de folhas (Figura 2) e uma estrutura irregular (Figura 3). Esses aspectos morfológicos são inerentes ao OG (Almeida, 2020), pois a oxidação do grafite provoca a separação do material formando folhas, que possuem

defeitos na sua superfície. Ferreira (2017) também observou em seu trabalho que a imagem de MEV do óxido de grafeno apresentou vários defeitos na sua superfície, além de folhas empilhadas.

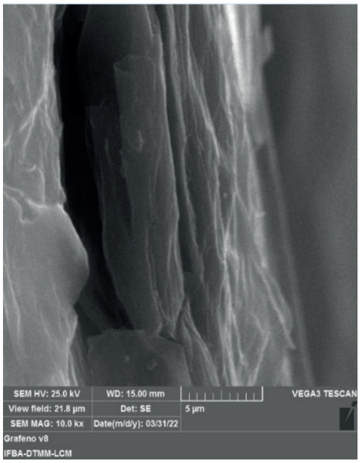


Figura 2 Imagens de microscopia eletrônica de MEV obtidas no sentido transversal com ampliação de 10000. (Fonte: Acervo próprio)

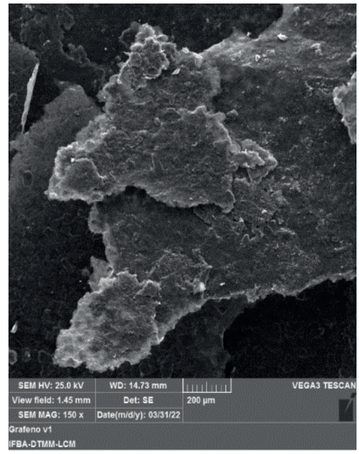


Figura 3 Imagens de microscopia eletrônica de MEV obtidas da superfície do óxido de grafeno com ampliação de 150. (Fonte: Acervo próprio)

Os espectros de FTIR (Figura 4) mostram que existe uma diferença entre a transmitância das amostras antes e após a síntese, o que evidencia que realmente houve uma transformação química no meio. Analisando o espectro para amostra de óxido de grafeno pode-se identificar quais grupos funcionais estão presentes na estrutura deste produto.

Segundo Marin (2013) a região do espectro de infravermelho localizada entre 4000 cm^{-1} e 1200 cm^{-1} refere-se ao local em que ocorre as vibrações de estiramento mais consideráveis dos grupos funcionais das moléculas orgânicas. Examinando essa região para o espectro do óxido de grafeno observou-se uma banda em 3417 cm^{-1} e outra em 1629 cm^{-1}. A primeira está relacionada às bandas de deformação e vibração dos grupamentos hidroxilas (-OH) e carboxilas (-COOH) (Ma *et al.*, 2013). A banda observada em 1629 cm^{-1} pode ser associada às ligações duplas presentes em anéis aromáticos e aos grupos carboxilas. Além disso, outras funcionalidades C-O podem ser observadas, como C-OH (1405 cm^{-1}) e C-O-C (1178 cm^{-1}). Todas essas características indicam que o óxido de grafeno foi sintetizado.

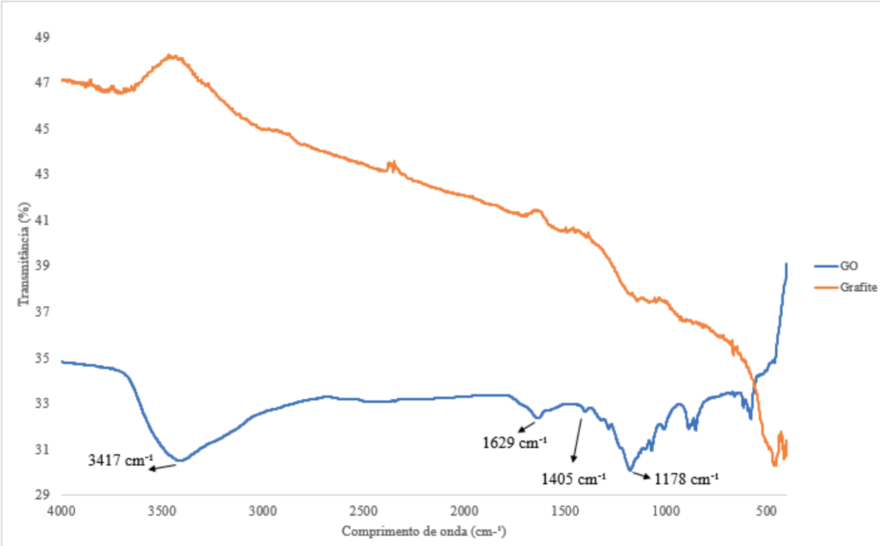


Figura 4 Espectros de FTIR para o grafeno e óxido de grafeno. (Fonte: Autoria própria)

SÍNTESE DOS FILMES BIOPOLIMÉRICOS

Na Tabela 2 está especificado o volume da suspensão de óxido de grafeno que foi utilizado em cada formulação.

Formulação	% GO/Amido	Massa de GO (g)	Volume medido da suspensão (mL)
OG - 0%	0,0	0,00	0,0
OG – 0,5%	0,5	0,05	3,0
OG – 1,0%	1,0	0,10	6,0
OG – 1,5%	1,5	0,15	9,0
OG – 2,0%	2,0	0,20	12,0

Tabela 2 Volume de suspensão de óxido de grafeno de acordo com a formulação. (Fonte: Autoria própria)

Os filmes obtidos (Figura 5) foram facilmente retirados da placa Petri após a secagem na estufa e resfriamento no dessecador, com exceção do filme de 1% de OG, porém pode-se atribuir isso a espessura menor desse filme (Figura 5c). Os filmes de 1,5% (Figura 5d) e 2,0% (Figura 5e) de OG apresentaram um aspecto enrugado, pois foi necessário expor os filmes uma segunda secagem na estufa, já que houve problemas de absorção de umidade durante o seu armazenamento no dessecador. Entretanto, não foram observadas partículas em suspensão, bolhas ou filmes rachados após a secagem.

Foram realizados alguns testes antes de se chegar a uma condição ótima de formação dos filmes. Inicialmente, utilizou-se um sistema com agitação magnética, temperatura de

90°C e tempo de aquecimento de 30 min, conforme a metodologia sugerida por Ma e colaboradores (2013). Nessas condições foi observado que a agitação não proporcionou uma boa homogeneização, parte do amido ficou impregnado no fundo do recipiente. A alta temperatura juntamente com o tempo maior de aquecimento fez com que o meio reacional ficasse muito viscoso e resultou em filmes quebradiços e ressecados que apresentaram dificuldades de serem removidos da placa Petri. Em seu trabalho, Ferreira (2017) também observou que os biopolímeros produzidos com temperaturas acima 70°C resultaram em filmes não contínuos e quebradiços.

Durante a síntese, notou-se também que era necessário dissolver o amido em água antes do início da reação, pois caso contrário ele permaneceria na forma de flocos e ficaria impregnado junto aos filmes.

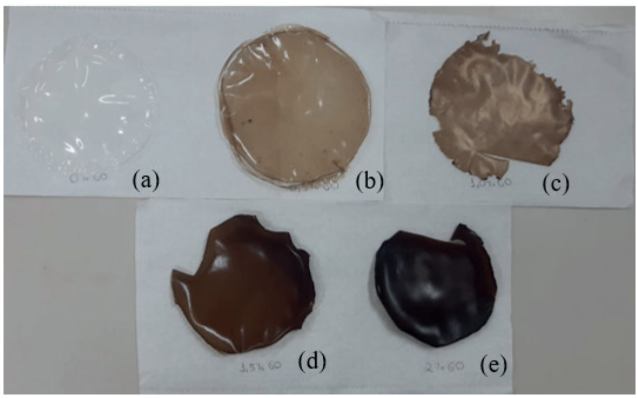


Figura 5 Filmes poliméricos obtidos: (a) 0% OG; (b) 0,5% OG; (c) 1,0% OG; (d) 1,5% OG; (e) 2,0% OG. (Fonte: Acervo próprio)

MEDIÇÃO DA ESPESSURA

A medida da espessura dos biofilmes foi feita em cinco pontos diferentes da amostra, conforme pode ser visto na Figura 6. Os valores obtidos estão expressos na Tabela 4, assim como a média e o desvio padrão de cada amostra.

Analisando a espessura média dos filmes, observa-se que eles apresentaram espessuras diferentes entre si, somente o biofilme sem óxido de grafeno e o biofilme com 0,5% de OG apresentaram valores de espessura próximos. O filme contendo 1,0% do reforço apresentou a menor espessura entre os biofilmes sintetizados, em três pontos medidos essa espessura foi menor do que 0,10mm. Esse resultado justifica o fato desse material ter apresentado maior dificuldade de ser removido da placa Petri sem que não houvesse rompimento do mesmo. Os filmes que apresentaram maior espessura foram os filmes de maior concentração do reforço (1,5% e 2,0% de óxido de grafeno).

Todos os filmes sintetizados tiveram variação de espessura nos diferentes pontos medidos. A formulação que apresentou maior variação foi aquela com 2,0% de óxido de

grafeno, enquanto o menor desvio padrão foi obtido com a formulação de 0,5% de OG. Esses resultados corroboram com a desvantagem da *técnica casting* de que é difícil obter filmes com uma espessura uniforme.

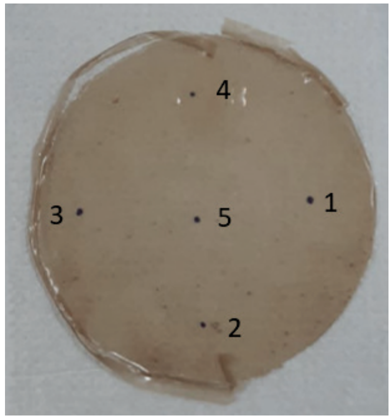


Figura 6 Distribuição dos pontos de medição de espessura em uma amostra de biopolímero. (Fonte: Acervo próprio)

Formulação	Posição 1 (mm)	Posição 2 (mm)	Posição 3 (mm)	Posição 4 (mm)	Posição 5 (mm)	Média (mm)	Desvio Padrão
OG - 0%	0,14	0,15	0,17	0,15	0,30	0,18	0,07
OG – 0,5%	0,25	0,11	0,19	0,17	0,25	0,19	0,06
OG – 1,0%	0,03	0,09	0,15	0,21	0,08	0,11	0,07
OG – 1,5%	0,30	0,32	0,21	0,45	0,30	0,32	0,09
OG – 2,0%	0,35	0,31	0,41	0,38	0,61	0,41	0,12

Tabela 3 Espessura das amostras de biofilme. (Fonte: Autoria própria)

IMAGENS DE MICROSCOPIA DE VARREDURA ELETÔNICA PARA OS FILMES BIOPOLIMÉRICOS

As imagens de superfície dos diferentes filmes biopoliméricos foram obtidas através da microscopia eletrônica de varredura com resolução de 500x (Figuras 7, 8, 9, 10, 11).

Conforme pode ser visto na Figura 7, somente o biofilme produzido sem óxido de grafeno apresentou uma superfície rugosa. Schaffer (2020) obteve filmes de amido com rugosidades na forma de pequenas bolhas, o que pode ser atribuído à etapa de secagem do material. Porém, analisando a Figura 7 não é possível notar bolhas, portanto, podemos inferir foram produzidos filmes de superfície lisa.

É possível notar que nos filmes de 0,5% e 2,0% de OG (Figuras 8 e 11), não houve separação de fases, o que indica que existe uma interação e boa dispersão entre a fase polimérica e OG. Isso pode ser atribuído à natureza hidrofílica do óxido de grafeno que se dispersa facilmente em água e devido à forte interação com o amido através dos átomos de oxigênio presentes em diferentes grupos funcionais (Afshar *et al.*, 2017).

Porém para os filmes de 1,0% e 1,5% de OG (Figuras 9 e 10), é possível verificar pequenas agulhas que podem ser atribuídas ao óxido de grafeno, sendo que para o filme de 1,0% de OG é possível notar uma maior quantidade. Isso pode ser atribuído a má dispersão do reforço no filme, que por sua vez pode ter sido causado pela agitação irregular, durante a produção dos filmes teve-se dificuldade em manter a agitação do sistema constante, além disso a chapa de aquecimento pode ter transmitido mais calor para o sistema reacional fazendo com que a taxa de evaporação do solvente fosse maior, com isso o polímero torna-se mais viscoso e a dispersão do óxido de grafeno no meio torna-se mais difícil.

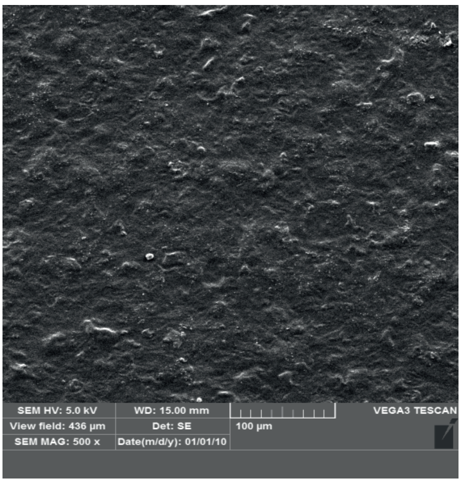


Figura 7 Imagem MEV do filme biopolimérico 0,0% OG com ampliação de 500. (Fonte: Acervo próprio)

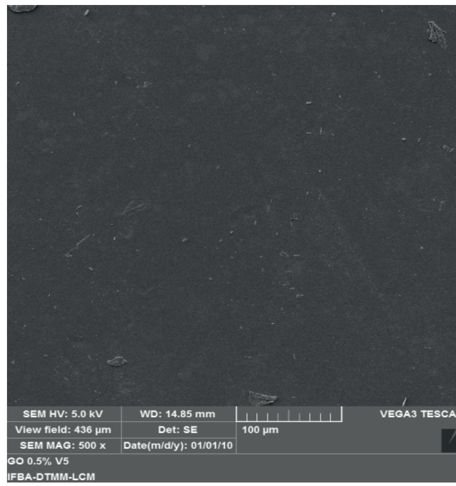


Figura 8 Imagem de MEV do filme biopolimérico 0,5% OG com ampliação de 500. (Fonte: Acervo próprio)

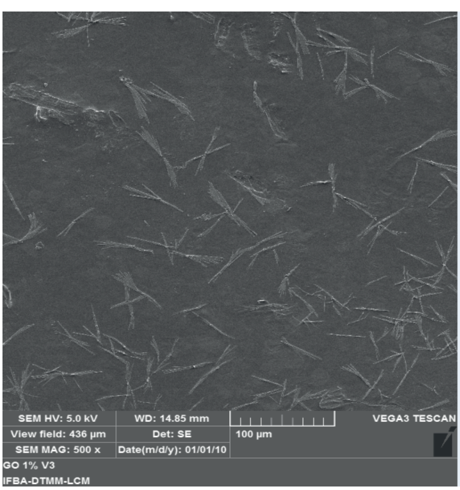


Figura 9 Imagem MEV do filme biopolimérico 1,0% OG com ampliação de 500. (Fonte: Acervo próprio)

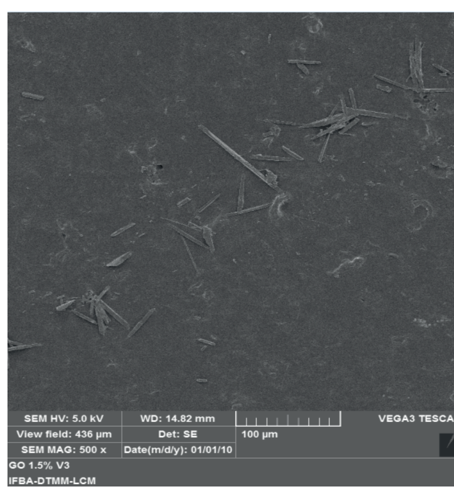


Figura 10 Imagem MEV do filme biopolimérico 1,5% OG com ampliação de 500. (Fonte: Acervo próprio)

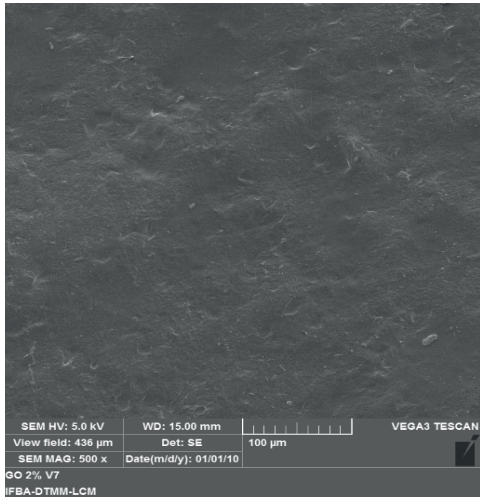


Figura 11 Imagem de MEV do filme biopolimérico 2,0% OG com ampliação de 500. (Fonte: Acervo próprio)

OPACIDADE

Na Tabela 4 temos os valores de absorbância, transmitância e opacidade dos filmes obtidos. A absorbância foi medida em espectrofotômetro a 600nm, a transmitância e a opacidade foram calculadas a partir das Equações 2 e 1, respectivamente.

$$T = antilog(2 - A) \quad \text{(Equação 2)}$$

Na qual A é a absorbância.

Formulação	Absorbância	Transmitância	Opacidade
Branco	0,133	-	-
OG - 0%	0,233	0,585	1,280
OG – 0,5%	0,368	0,429	1,897
OG – 1,0%	0,602	0,250	5,375
OG – 1,5%	0,896	0,127	2,835
OG – 2,0%	1,150	0,071	2,791

Tabela 4 Opacidade dos diferentes filmes biopoliméricos (Fonte: Autoria própria)

A opacidade é uma propriedade de suma importância para filmes que são aplicados como embalagens de produtos (Mali *et al.*, 2004), pois está diretamente relacionado com a apresentação visual do produto, nesse sentido filmes transparentes geralmente são mais requeridos. Em contrapartida, quando o produto é sensível a luz devido a possíveis reações de degradação é necessário utilizar filmes com baixa transparência (Marques, 2018).

O parâmetro opacidade nos traz informações sobre a quantidade de luz capaz

de atravessar a superfície do material, assim quanto menor a opacidade maior será a quantidade de luz que entrará em contato com o produto (Marques, 2018). Através dos resultados apresentados na Tabela 6 podemos notar que adição do óxido de grafeno à matriz polimérica provocou o aumento da opacidade dos filmes.

A quantidade de luz transmitida diminui à medida que a concentração de óxido de grafeno aumenta, porém o mesmo não é observado para opacidade já que esse parâmetro é dependente também da espessura do filme. O filme contendo 1% de OG foi a formulação que apresentou maior opacidade, que foi aproximadamente o dobro da opacidade obtida para a formulação contendo 2% OG, composição essa que apresentou maior espessura, boa dispersão do OG na matriz polimérica e maior tempo de resistência à carga exposta.

CONCLUSÃO

A esfoliação do grafite através da oxidação levou a formação de um material que apresentou camadas na sua estrutura e grupos funcionais oxigenados, tais como hidroxilas e carboxilas, que são características do óxido de grafeno. A suspensão obtida teve uma concentração de 0,0168 g/mL.

A incorporação do OG no TPS através da *técnica casting* produziu resultados satisfatórios dentro das limitações encontradas durante este trabalho. Os filmes produzidos tiveram aspecto contínuo, visualmente homogêneos, com boa flexibilidade, além de não ter sido observado partículas insolúveis ou bolhas. Somente o filme contendo 1,5% OG apresentou baixa espessura e por isso encontrou-se dificuldade durante a sua remoção da placa Petri, o que ocasionou alguns rasgos nas bordas do filme.

Todos os filmes produzidos apresentaram variação de espessura nos diferentes pontos medidos, sendo um desvio maior encontrado no filme contendo 2,0% de óxido de grafeno. Esse resultado observado corrobora com uma das desvantagens da *técnica casting*, que é a dificuldade de controle na espessura dos filmes produzidos.

As imagens de microscopia eletrônica de varredura mostraram que o filme produzido sem a incorporação do óxido de grafeno apresentou uma superfície rugosa, os filmes contendo 0,5% e 2,0% de OG apresentaram uma única fase, enquanto que nos filmes de 1,0% e 1,5% de OG foi possível notar a presença de pequenas agulhas, que foram atribuídas ao óxido de grafeno. A má dispersão observada pode ser justificada pela agitação irregular do sistema ou pela maior taxa evaporação de solvente.

A opacidade é um parâmetro importante para filmes que são empregados em embalagens de produtos, pois o mesmo está relacionado com a quantidade de luz que o produto estará exposto e também com as características visuais do mesmo. Esse parâmetro também é dependente da espessura do filme. O filme contendo 1,0% de OG apresentou a maior opacidade dentre os filmes sintetizados.

REFERÊNCIAS

AFSHAR, S. BANISADI, H. **Investigation the effect of graphene oxide and gelatin/starch weight ratio on the properties of starch/gelatin/GO nanocomposite films: The RSM study.** International Journal of Biological Macromolecules, 2017.

ALMEIDA, A. F. de **Síntese do óxido de grafeno e incorporação do óxido de ferro visando suas aplicações em adsorção de corantes**. Tese de Mestrado – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2020. Disponível em: < https://tede.unioeste.br/bitstream/tede/5169/2/Anna_Almeida_2020.pdf>. Acesso em: 03 ago 2022.

BIOPDI. **Ensaio de Tração**. Disponível em: <https://biopdi.com.br/artigos/ensaio-de-tracao/>. Acesso em 07 set 2022.

CALLISTER Jr, William D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5 ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2002.

FERREIRA, W. H. **Uso do óxido de grafeno e de seu derivado reduzido em materiais biodegradáveis**. Tese de Doutorado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2017.

FERREIRA, W. H.; ANDRADE, C. T. **Biocompósitos de amido termoplástico e óxido de grafeno obtido por extrusão**. IX Encontro Técnico de Materiais e Química, 2017.

GEYER, R.; JAMBECK, J. R.; LAW, K. L. **Production, use, and fate of all plastics ever made.** Science Advances. v. 3 e1700782. 2017.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 7. ed. – São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

HUMMERS, W. S.; OFFEMAN, R. E. **Preparation of Graphitic Oxide.** Journal of the American Chemical Society, 1339 – 1339, 1958. Disponível em < https://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/ja01539a017# > Acesso em: 03 jul 2022.

LI, R.; LIU, C.; MA, J. **Studies on the properties of graphene oxide-reinforced starch biocomposites.** Carbohydrate Polymers 84, p.631-637, 2011.

MA, T.; CHANG, P. T.; ZHENG, P.; MA, X. **The composites based on plasticized starch and graphene oxide/reduced graphene oxide.** Carbohydrate Polymers 94 p. 63- 70, 2013.

MALI, S. GROSSMANN, V. E., GARCÍA, M. A., MARTINO, M. N., ZARITZKY, N. E. **Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films**. Carbohydrate Polymers 56 (2004) 129- 135.

MARIN, E. P. **Espectroscopia de Infravermelho e suas aplicações**. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Estadual Paulista, 2013.

MARQUES, G. S. **Obtenção de filmes biodegradáveis de amido de mandioca reforçados com nanofibras de celulose de rami**. Tese de mestrado. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

MEDEIROS, G. S. **Nanocompósitos a base de polietileno de baixa densidade utilizando óxido de grafeno e grafeno como cargas.** Tese de Mestrado. Universidade Presbiteriana Mackenzie, 2019.

MTS SYSTEMS. **ASTM D882 Tensile Properties of Thin Film / Plastic Sheeting**. 100-332-870 TMTND882 Printed in U.S.A. 09/21. Disponível em: <https://www.mts.com/-/media/materials/pdfs/test-standards/100-332-870_PlasticsD882.pdf?as=1>. Acesso em: 04 set 2022.

PINTO, C. de O.; OLIVEIRA, D. C. da S.; SANTOS, Y. T. B. dos; SILVA, I. C. da; FARIAS, C. T. T.; CAVALCANTI, L. A. P**. Detecção de corrosão de aço carbono revestida com tinta industrial aditivada com óxido de grafeno por termografia ativa**. Jornada Técnica do Conhecimento sobre Ensaios Não Destrutivos e Inspeção, 2022.

RAGAERT, K.; GEEM, K. M. V.; DELVA, L. **Mechanical and chemical recycling of solid plastic waste.** Waste Management**.** v. 69, p. 24 – 58, 2017.

SANTOS, C. D. M.; PAGNO, C. H.; COSTA, T. M. H.; FACCIN, D. J. L.; FLÔRES, S. H.; CARDOZO, N. S. M**. Biobased polymer films from avocado oil extraction residue: Production and characterization**. Journal of Applied Polymer Science, 2016.

SILVA, M. C. **Polímeros Biodegradáveis: Tipos, Propriedades e Aplicações**. Trabalho de Conclusão de Curso. Centro Universitário Estadual da Zona Oeste, 2013.

WIESENHÜTTER, L. L.; MEINERZ, N. Z.; GRUEBLER, T. F**. O consumo de plástico no brasil: impactos e alternativas ao seu uso**. XXVIII Seminário de Iniciação Científica. Salão do Conhecimento. UNIJUÍ, 2021.

ZAMORA, A. M. et al. **Atlas do Plástico: Fatos e números sobre o mundo dos polímeros sintéticos.** Fundação Heinrich Boll, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: < https://br.boell.org/sites/default/files/2020-11/Atlas%20do%20Pl%C3%A1stico%20-%20vers%C3%A3o%20digital%20-%2030%20de%20novembro%20de%202020.pdf>. Acesso em 07 fev 2022.

INFLUENCE OF SODIUM CITRATE CONCENTRATION ON THE SYNTHESIS OF GOLD NANOPARTICLES, USING THE TURKEVICH METHOD

Data de submissão: 20/12/2024 *Data de aceite: 02/01/2025*

Angela Alidia Bernal Cárdenas
Departamento de Física, Centro Politécnico, Universidade Federal do Paraná, 81531-990, Curitiba, Paraná, Brazil
Departamento de Artes Visuais, Pontificia Universidad Católica de Paraná (PUC), 80215-901, Curitiba, Paraná, Brazil

Jorge Andres Ardila Bernal
Departamento de Física, Centro Politécnico, Universidade Federal do Paraná, 81531-990, Curitiba, Paraná, Brazil
Departamento de Artes Visuais, Pontificia Universidad Católica de Paraná (PUC), 80215-901, Curitiba, Paraná, Brazil

ABSTRACT: The present work aimed to synthesize gold nanoparticles (AuNPs) using the Turkevich method, considered one of the simplest and easiest chemical synthesis techniques; this synthesis consists of reacting chloroauric acid ($HAuCl_4$) using different concentrations of sodium citrate ($Na_3C_6H_5O_7$) at a temperature around 90ºC, to obtain a variety of sizes of AuNPs and presenting low formation of aggregates during the synthesis process, which leads to obtaining a stable colloidal suspension, which was meticulous, characterized by UV-vis, SEM, and XRD. UV-vis exhibits a maximum absorption of 522 nm due to the surface plasmon resonance (SPR) absorption band of AuNPs. The SEM images of the AuNPs show an average particle size of approximately 32nm and 120 nm with good homogeneity and monodisperse, spherical shapes, becoming polydispersed and less spherical as their size increases. The AuNPs XRD showed four main characteristic peaks of gold corresponding to the planes (111), (200), (220), and (311); the polydispersity index (PDI) of 0.210.
KEYWORDS: Nanomaterials, synthesize and AuNPs

1 I INTRODUCTION

The original work of synthesis of AuNPs dates back to 1951 when colloidal gold was formed by reacting chloroauric acid ($HAuCl_4$) and trisodium citrate ($Na_3C_6H_5O_7$); detailed work by Turkevich [1], becoming one of the milestones of the synthesis of AuNPs. Since then, this synthesis has been modified and improved

for various applications [2] due to its attractive physical properties that include surface plasmon resonance (SPR), a property that depends on its size and shape [3], since then gold nanoparticles (AuNPs) have been made using different techniques and routes. Over the past decade, the synthesis of this nanomaterial has attracted enormous attention due to its exceptional chemical stability, simplicity of synthesis, and attractive optical properties [4], making them applicable in various fields of technology, including nanoelectronics [5], catalysis [6] and nanobiotechnology [7]. Later, Frens demonstrated that the size of AuNPs in Turkevich synthesis, could be controlled by varying the sodium citrate concentration [8]; this adjustment influences nanoparticle growth through rapid nucleation followed by diffusion-controlled growth at elevated temperatures [9]. Therefore, in this work, AuNPs were synthesized using the well-known Turkevich-Frens method, taking into account the concentration ratio of sodium citrate, since it fulfills the function as a reducing agent and at the same time as a stabilizer of the nanostructures [10, 11]; apart from drastically influencing their growth. Several factors were taken into account such: as temperature, the relationship between the concentration of chloroauric acid and sodium citrate, the order of addition of the precursors, the synthesis time, and the stirring conditions, which significantly influenced the morphology and size of the resulting AuNPs [12]; obtaining a colloidal solution of AuNPs in which the particles formed are stable and monodisperse, without an additional stabilizing agent.

2 | MATERIALS AND METHODS

2.1 Materials

Sodium citrate ($Na_3C_6H_5O_7$) was obtained from Synth (Brazil), and chloroauric acid ($HAuCl_4$) from Sigma–Aldrich (Brazil). All reagents were of analytical grade, and all solutions were prepared using purified water from a Millipore Milli-Q system.

2.2 Synthesis of AuNPs

The synthesis of AuNPs was carried out by applying the Turkevich-Frens method, using different concentrations of sodium citrate, to obtain a wide variety of controlled nanoparticle sizes [8]; four solutions were prepared with purified water, each with 20 ml of $HAuCl_4$ at a concentration of 0.2 mM in a beaker with a capacity of 50 ml, stirring them magnetically for 10 minutes, once these solutions were finished four other solutions were prepared with purified water in molar proportions of sodium citrate, which were: (3.40 mM, 5.1 mM, 6.8 mM, and 8.5 mM) in four different beakers, taking each of these solutions to magnetic agitation for 10 minutes. Each of the concentrations of $HAuCl_4$ is heated to 97ºC in a magnetic stirrer at 450 rpm. To prevent contamination and evaporation of the solvent during synthesis a petri dish was used to cap the beaker; after each of the $HAuCl_4$

solutions reached the boiling point 1 ml of the sodium citrate concentrations respectively was quickly added, maintaining the same temperature and stirring, until a ruby-red solution is obtained in each. Finally, they are left to cool to room temperature; once they are cold, they are hermetically covered keeping them at 4°C doing this same process for each of the concentrations see the process in Figure 1.

2.3 Methods

The AuNPs were characterized using various techniques. UV-vis absorption spectroscopy was performed with a Perkin Elmer Lambda 1050 spectrophotometer in the wavelength range of 420–690 nm, using a quartz cuvette and diluting the sample with deionized water. Images scanning electron microscopy (SEM) were obtained using an FEI Phenom microscope operating at an electron acceleration voltage of 10 keV, with a resolution of 3 nm and a magnification of 300.000 x; the particle size and size distribution of each sample were obtained by image analysis using the program (Image J). X-ray diffraction (XRD) analyses were performed using a Shimadzu XRD 7000 X-ray diffractometer with (Cu-Kα radiation λ = 1.5418Å), 40 KeV voltage, and 30 mA current in the range of 20° - 80°.

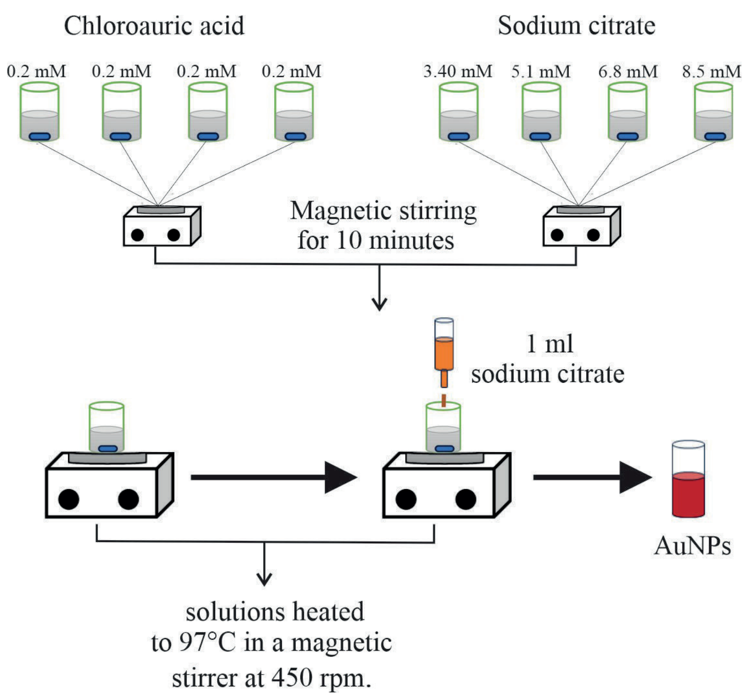


Figure 1: AuNPs synthesis.

3 I RESULTS AND DISCUSSION

3.1 UV-Vis Spectroscopy

The AuNPs exhibit a surface plasmon resonance that results in a strong absorbance band in the visible region (500 - 600 nm), measured by UV-vis spectroscopy. The spectrum obtained is observed in Figure 2; AuNPs exhibit a maximum absorption at 522 nm.

The surface plasmon phenomenon is the oscillations of free electrons on the surface of solid materials supported by metal nanoparticles. When the frequency of the incident light; coincides with the natural frequency of the surface electrons, the surface plasmon phenomenon occurs [13].

Band intensity and wavelength depend on the properties of AuNPs, including structure, shape, and size. Typically, the surface plasmon band for spherical (32 to 120) nm AuNPs has peaks around 522 nm in UV-vis. As the wavelength changes to higher values, the diameter of the nanoparticles increases [14].

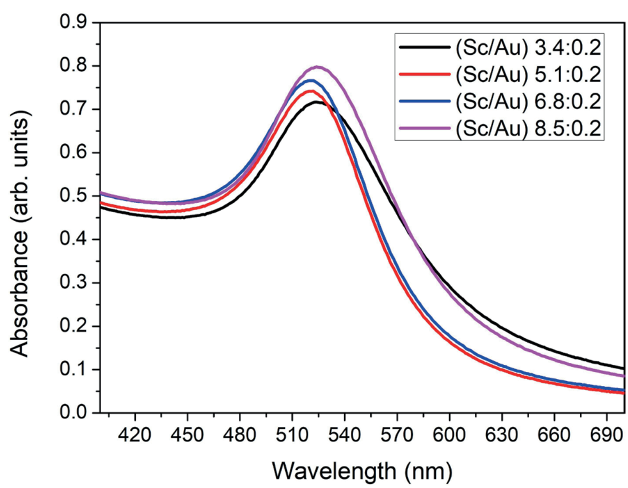


Figure 2: UV-vis absorption spectrum of AuNPs.

3.2 Effect of molar ratio

The advantage of the Turkevich method is the ability to control the size of AuNPs by changing the molar ratio of sodium citrate. In this work, AuNPs were synthesized, with sizes between 32 nm and 120 nm, increasing the molar ratio from 3.40 to 8.5, as shown in Table 1. Nanoparticles with increasingly larger diameters and less spherical shapes were formed, as the molar ratio of sodium citrate, increased addition presents a slight amplitude of the absorption order, which indicates that the nanoparticles become increasingly polydisperse, with polydispersity indices ranging from 0.210 to 0.441. However, the size and distribution of AuNPs are affected due to the increase in ionic forces and electrostatic repulsions between

AuNPs, which reduces colloidal stability in small proportions.

Chloroauric acid (mM)	Sodium citrate (mM)	Diameter of the AuNPs (nm)	Polydispersity index
0.2	3.4	32	0.210
0.2	5.1	60	0.278
0.2	6.8	80	0.334
0.2	8.5	120	0.441

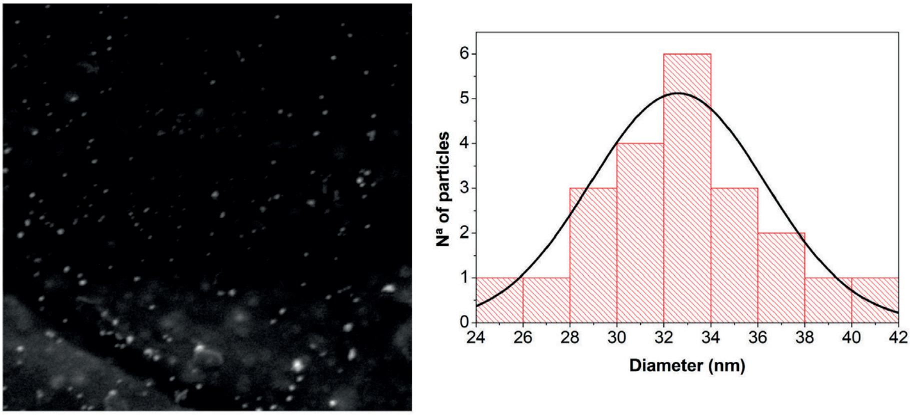
Table 1: Data comparing the size of AuNPs and their polydispersion concerning different concentrations of sodium citrate.

3.3 Other factors of the Turkevich method

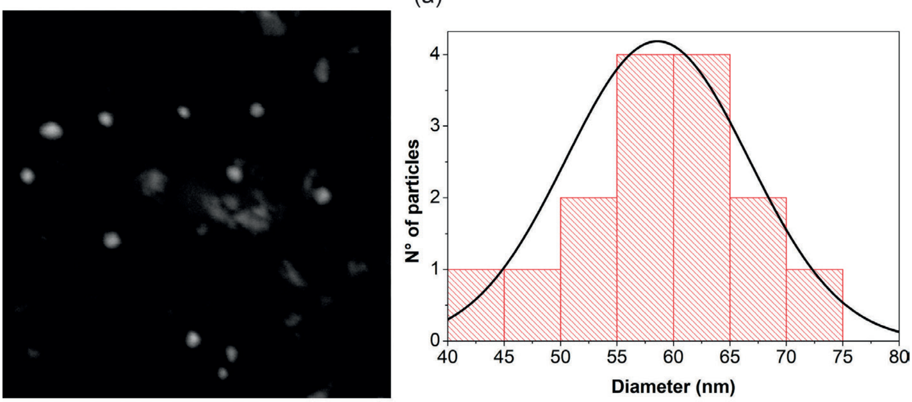
Another critical factor reported in the Turkevich method was the order of addition of the reagents [15]. In the standard synthesis protocol, sodium citrate is introduced into a boiling chloroauric acid solution, resulting in small nanoparticles with a uniform distribution [16]. On the contrary, if the order of addition is reversed and the citrate solution is brought to the boiling point, it would allow the citrate to transform into different nanostructured species before reacting with chloroauric acid due to the thermal oxidation of citrate. Last but not least, the effect of temperature on the chloroauric acid solution is an important factor since the increase of heat in the solution leads to the formation of nanoparticles with diameters of approximately 3 nm in the synthesis by the Turkevich method [17].

3.4 Scanning electron microscopy

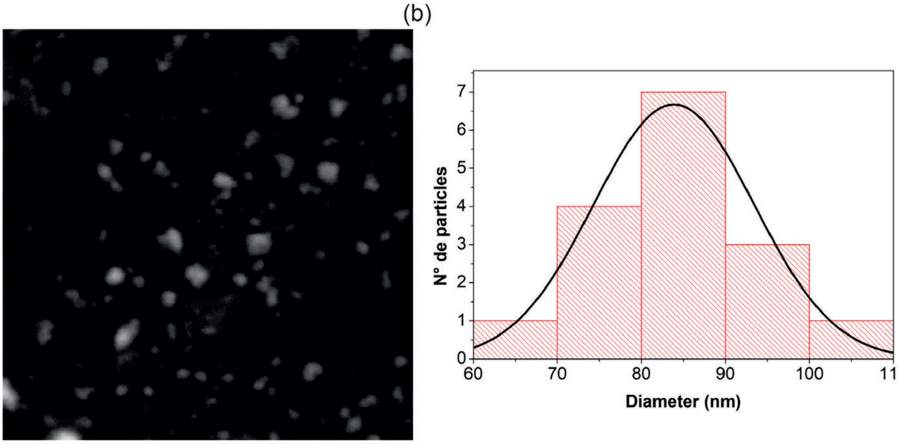
In this work, scanning electron microscopy is used to confirm the formation of AuNPs and study the morphology obtained, as shown in Figure 3. As can be seen, the images obtained show a uniform distribution of spherical AuNPs as the molar ratio of sodium citrate increases, the surface indicates some degree of nanoparticle aggregation, generating several random sizes with irregular shapes. The size of the nanoparticles was measured by applying the program (Image J) to each SEM image, resulting in nanoparticles from 32nm to 120 nm.


Nª of particles
Diameter (nm)
0
1
2
3
4
5
6
24
26
28
30
32
34
36
38
40
42

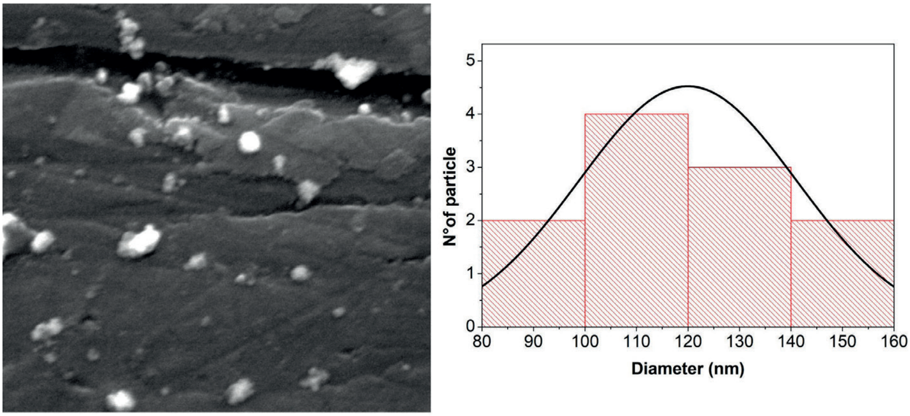
(a)


N° of particles
Diameter (nm)
0
1
2
3
4
40
45
50
55
60
65
70
75
80

(b)


N° de particles
Diameter (nm)
0
1
2
3
4
5
6
7
60
70
80
90
100
110

(c)



(d)

Figure 3: SEM images of AuNPs nanoparticles with diameters of a) 32 nm, b) 60 nm, c) 80 nm, and d) 120

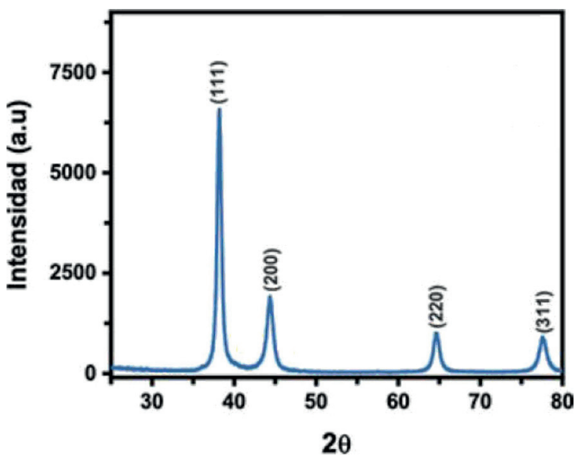


Figure 4: SEM images of AuNPs nanoparticles with diameters of a) 32 nm, b) 60 nm, c) 80 nm, and d) 120

3.5 X-ray diffraction analysis

The crystallinity of the synthesized AuNPs was investigated using the X-ray diffraction (XRD) technique; the pattern exhibited four distinct peaks at 38.2, 44.4, 64.7, and 77.7. All peaks corresponded to standard Bragg reflections (111), (200), (220), and (311) sets of lattice planes corresponding to the synthesis of AuNPs, as shown in Figure 4

4 I CONCLUSIONS

The AuNPs were synthesized using the Turkevich method; the process reacts chloroauric acid ($HAuCl_4$) with different molar concentrations of sodium citrate ($Na_3C_6H_5O_7$) at 97ºC with a magnetic stirring of 450 rpm. The result was a red suspension, indicating the

formation of AuNPs. The nanomaterials were characterized by UV-Vis, SEM, and XRD; UV-VIS spectroscopy shows maximum absorption at 522 nm, the characteristic peak of AuNPs. The SEM images show Spherical AuNPs, presenting a uniform distribution with a certain degree of random aggregation with various sizes, obtained by applying the program (Image J), whose average diameter is around 32 to 120 nm. The diffractograms of the AuNPs showed four characteristic peaks associated with the crystallographic planes (111), (200), (220), and (311).

ACKNOWLEDGEMENTS

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior—Brasil (CAPES) — Finance Code 001 and the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico — Brasil (CNPq). The authors thank the Centro de Microscopia Eletrônica (UEPG) for providing access to the SEM facilities and Laboratório de Óptica de Raios X (UEPG) for providing access to the XRD facilities.

REFERENCES

[1] John Turkevich, Peter Cooper Stevenson, and James Hillier. A study of the nucleation and growth processes in the synthesis of colloidal gold. *Discussions of the Faraday Society*, 11:55–75, 1951.

[2] Gerrit Frens. Controlled nucleation for the regulation of the particle size in monodis- perse gold suspensions. *Nature physical science*, 241(105):20–22, 1973.

[3] Qais M Al-Bataineh, Ahmad D Telfah, Carlos J Tavares, and Roland Hergenröder. Surface plasmon coupling between wide-field spr microscopy and gold nanoparticles. *Scientific Reports*, 13(1):22405, 2023.

[4] Akriti Tirkey and Punuri Jayasekhar Babu. Synthesis and characterization of citrate- capped gold nanoparticles and their application in selective detection of creatinine (a kidney biomarker). *Sensors International*, 5:100252, 2024.

[5] Arun Karnwal, Rohan Samir Kumar Sachan, Inderpal Devgon, Jyotsna Devgon, Gau- rav Pant, Mitali Panchpuri, Akil Ahmad, Mohammed B Alshammari, Kaizar Hossain, and Gaurav Kumar. Gold nanoparticles in nanobiotechnology: from synthesis to biosensing applications. *ACS omega*, 9(28):29966–29982, 2024.

[6] Supakit Worakitjaroenphon, Paramasivam Shanmugam, Supakorn Boonyuen, Siwa- porn Meejoo Smith, and Kanussamon Chookamnerd. Green synthesis of silver and gold nanoparticles using oroxylum indicum plant extract for catalytic and antimicro- bial activity. *Biomass Conversion and Biorefinery*, pages 1–12, 2023.

[7] Amira M Gamal-Eldeen, Dina Moustafa, Sherien M El-Daly, Enas A El-Hussieny, Samira Saleh, Menka Khoobchandani, Kathryn L Bacon, Sagar Gupta, Kavita Katti, Ravi Shukla, et al. Photothermal therapy mediated by gum arabic-conjugated gold nanoparticles suppresses liver preneoplastic lesions in mice. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 163:47–56, 2016.

[8] Jiaqi Dong, Paul L Carpinone, Georgios Pyrgiotakis, Philip Demokritou, and Brij M Moudgil. Synthesis of precision gold nanoparticles using turkevich method. *KONA Powder and Particle Journal*, 37:224–232, 2020.

[9] Neus G Bastús, Joan Comenge, and Víctor Puntes. Kinetically controlled seeded growth synthesis of citrate-stabilized gold nanoparticles of up to 200 nm: size focusing versus ostwald ripening. *Langmuir*, 27(17):11098–11105, 2011.

[10] Belete Tessema, Girma Gonfa, Sintayehu Mekuria Hailegiorgis, S Venkatesa Prabhu, and S Manivannan. Synthesis and characterization of silver nanoparticles using re- ducing agents of bitter leaf (vernonia amygdalina) extract and tri-sodium citrate. *Nano-Structures & Nano-Objects*, 35:100983, 2023.

[11] Bogdan Pascu, Adina Negrea, Mihaela Ciopec, Narcis Duteanu, Petru Negrea, Lloyd A Bumm, Oana Grad, Nicoleta Sorina Nemeş, Cătălina Mihalcea, and Daniel Marius Duda-Seiman. Silver nanoparticle synthesis via photochemical reduction with sodium citrate. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(1):255, 2022.

[12] Natália Cristina Dalibera, Aline Furtado Oliveira, and Adriano Rodrigues Azzoni. Synthesis of gold nanoparticles with different sizes and morphologies using a single ltcc-based microfluidic system for point-of-care use in personalized medicine. *Microflu- idics and Nanofluidics*, 27(8):56, 2023.

[13] Devi Taufiq Nurrohman and Nan-Fu Chiu. Interaction studies of localized surface plasmon resonance immunosensor based on gold nanoparticles. *IEEE Sensors Journal*, 2023.

[14] KG Thomas. Surface plasmon resonances in nanostructured materials. *Nanomaterials Chemistry: Recent Developments and New Directions*, pages 185–218, 2007.

[15] Aleksandra M Figat, Bartosz Bartosewicz, Malwina Liszewska, Bogusław Budner, Małgorzata Norek, and Bartłomiej J Jankiewicz. α-amino acids as reducing and capping agents in gold nanoparticles synthesis using the turkevich method. *Langmuir*, 39(25):8646–8657, 2023.

[16] Sankar Kalidas Sivaraman, Sanjeev Kumar, and Venugopal Santhanam. Monodisperse sub-10 nm gold nanoparticles by reversing the order of addition in turkevich method– the role of chloroauric acid. *Journal of colloid and Interface Science*, 361(2):543–547, 2011.

[17] Zahra Bahmanyar, Fatemeh Mohammadi, Ahmad Gholami, and Mehdi Khosh- neviszadeh. Effect of different physical factors on the synthesis of spherical gold nanoparticles towards cost-effective biomedical applications. *IET nanobiotechnology*, 17(1):1–12, 2023.

CAPÍTULO 4

WELLPOSEDNESS OF A CAUCHY PROBLEM ASSOCIATED TO N-TH ORDER EQUATION

Data de submissão: 25/11/2024 *Data de aceite: 02/01/2025*

Yolanda Silvia Santiago Ayala
Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Fac. de Ciencias Matemáticas, Lima-PERU
https://orcid.org/0000-0003-2516-0871

Sting Jose Abanto Poliongo
Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Fac. de Ciencias Matemáticas, Lima-PERU
https://orcid.org/0009-0009-7333-657X

ABSTRACT: In this article we prove that the Cauchy problem associated to n-th order equation in periodic Sobolev spaces is globally well posed when n is an odd number such that n – 1 is an even number not multiple of four. We do this in an intuitive way using Fourier theory and in a fine version using groups theory. Also, we demonstrate the conservative property of the Cauchy problem using differential calculus in H^s_{per}. Finally, we study its generalization for the other cases of n.

KEYWORDS: Groups theory, n-th order equation, existence of solution, conservative property, Periodic Sobolev spaces, Fourier Theory.
MSC 2010: 35G10, 35Q53, 47D03, 35B40

INTRODUCTION

We study the problem:

$(P_1): \quad \partial_t u + \partial_x^n u = 0 \ \text{ in } H^{s-n}_{per}, \ \text{ with } u(0) = \varphi \in H^s_{per}$,

considering *s* a real number, n is an odd number such that n – 1 is an even number not multiple of four and denoting by H^s_{per} to the periodic Sobolev space.

Also we can cite [6], where we find some works related to the model (P_1) coupled to Kuramoto-Sivashinski equation, and [1] where our model is stated among the proposed problems. In these additional references we have motivation to study the problem and inspiration with the ideas we find there.

We also cite some works about existence by semigroups [2], [3], [4] and take support in some results of [5].

Our article is organized as follows. In section 2, we indicate the methodology used and cite the references used. In section 3, we prove that problem (P_1) is well posed. Moreover, we introduce a family of operators that form a group of class C_0 to state the result Theorem 3.3 and prove it

in a fine version. In section 4, we study the conservative property of the homogeneous problem (P_1) and applications. In section 5, we analized (P_1) for the other cases of n. Finally, in section 6, we give the conclusions of our study.

METHODOLOGY

As a theorical framework in this article we use [6]. Also, we use the references [1], [8], [6] and [7] for the Fourier theory in periodic Sobolev spaces, and differential and integral calculus in Banach spaces.

THE PROBLEM (P_1) IS WELL POSED

We prove that (P_1) is well posed. Also, we introduce a family of operators that form a unitary group of class C_o, as we make it in Theorem 3.2.

Finally, we state the Theorem 3.3 whose content is a fine version of Theorem 3.1 based on the group $\{S(t)\}_{t\in R}$.

Theorem 3.1 Let s a fixed real number, n an odd number such that n – 1 is an even number not multiple of four and the problem

$$(P_1)\left|\begin{array}{l} u \in C(R, H^s_{per}) \\ \partial_t u + \partial_x^n u = 0 \ \in \ H^{s-n}_{per} \\ u(0) = \varphi \ \in \ H^s_{per} \end{array}\right.$$

then (P_1) is globally well posed, that is $\exists!\, u \in C(R, H^s_{per}) \cap C^1(R, H^{s-n}_{per})$ satisfying equation (P_1) so that the application: $\varphi \rightarrow$ u, which to every initial data φ assigns the solution u of the IVP (P_1), is continuous. That is, for φ and $\tilde{\varphi}$ initial data close in H^s_{per}, their corresponding solutions u and $\tilde{u}$ respectively, are also close in the solution space.

Also,

$$\|u(t) - \tilde{u}(t)\|_s = \|\varphi - \tilde{\varphi}\|_s, \ \forall t \in R$$

and

$$sup_{t\in R} \|u(t) - \tilde{u}(t)\|_s = \|\varphi - \tilde{\varphi}\|_s.$$

Moreover, the solution u satisfies

$$u(t) \in H^r_{per}\ , \ \forall t \in R, \ \forall r \leq s$$

with $\|u(t)\|_s = \|\varphi\|_s \ and \ \|u(t)\|_r \leq \|\varphi\|_s, \ \forall r < s \ and \ t \in R.$

The application: $\varphi \rightarrow \partial_t$u, wich for every initial data φ assigns the derivative of solution u of the *IVP* (P_1) is continuous. That is, for φ and $\tilde{\varphi}$ initial data close in H^s_{per} their corresponding ∂_tu and $\partial_t\tilde{u}$, respectively, are also close in the solution space.

Also, the following inequalities are verified

$$\|\partial_t u(t) - \partial_t \tilde{u}\,(t)\|_{s-n} \leq \|\varphi - \tilde{\varphi}\|_s\,,\ \forall t \in R\,,$$

$$sup_{t\in R}\ \|\partial_t u(t) - \partial_t \tilde{u}\,(t)\|_{s-n} \leq \|\varphi - \tilde{\varphi}\|.$$

$$\|\partial_t u(t)\|_{s-n} \leq \|\varphi\|_s,\ \forall t \in R.$$

Moreover, $\|\partial_t u(t)\|_{s-n} \leq \|\varphi\|_s,\ \forall t \in R.$

Proof.- We prove it in the following way.

1. First, we obtain the candidate to the solution. In order to get it we apply the Fourier transformation to the equation

$$\partial_t u = -\partial_x^n u$$

and using $(ik)^n = -ik^n$,$\forall\ k \in Z$, we have

$$\begin{aligned}\partial_t \hat{u} &= -(ik)^n \hat{u}\\ &= ik^n \hat{u}\end{aligned}$$

which for every *k* is an ODE with initial data $\hat{u}(\mathrm{k}, 0) = \hat{\varphi}(\mathrm{k})$.

Thus, solving the IVP's

$$(\Omega_k)\quad \left|\begin{array}{l}\hat{u} \in C\big(R, l_s^2(Z)\big)\\ \partial_t \hat{u}(k,t) = ik^n\, \hat{u}(k,t)\\ \hat{u}(k,0) = \hat{\varphi}(k)\end{array}\right.$$

we obtain

$$\hat{u}(k,t) = e^{ik^n t}\hat{\varphi}(k),$$

from which we get our candidate to the solution:

$$\begin{aligned}u(t) &= \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \hat{u}(k,t)\varphi_k\\ &= \sum_{k=-\infty}^{+\infty} e^{ik^n t}\hat{\varphi}(k)\varphi_k \qquad (3.1)\end{aligned}$$

here we are denoting $\varphi k(x) = e^{ikx}$ for $x \in R$.

2. Second, we prove:

$$u(t) \in H_{per}^s \text{ and } \|u(t)\|_s = \|\varphi\|_s \qquad (3.2)$$

In effect, let $t \in R - \{0\}$, $\varphi \in H_{per}^s$, we have

$$
\begin{aligned}
\|u(t)\|^2_{H^s_{per}} &= 2\pi \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (1+k^2)^s \left|e^{ik^n t}\hat{\varphi}(k)\right|^2 \\
&= 2\pi \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (1+k^2)^s |\hat{\varphi}(k)|^2 < \infty \qquad (3.3) \\
&= \|\varphi\|^2_{H^s_{per}} \ .
\end{aligned}
$$

Obviously it holds (3.2) for $t = 0$.

3. We will prove that $u(\cdot)$ is continuous in R.

Let $t' \in R$,

$$
\begin{aligned}
&\|u(t) - u(t')\|^2_{H^s_{per}} \\
&\quad = 2\pi \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (1+k^2)^s \left|\left(e^{ik^n t} - e^{ik^n t\prime}\right)\hat{\varphi}(k)\right|^2 \\
&\quad = 2\pi \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (1+k^2)^s |\hat{\varphi}(k)|^2 \, |H(t)|^2 \qquad (3.4)
\end{aligned}
$$

where $\mathrm{H(t)} := e^{ik^n t} - e^{ik^n t'}$.

We see that $\lim_{t\to t'} H(t) = 0$.

In order to interchange limits, we need the uniform convergence of the series. For this, we take the k-th term of the series and bound it by a convergent series, that is

$$
\begin{aligned}
I_{k,t} &:= 2\pi(1+k^2)^s |\hat{\varphi}(k)|^2 \left|e^{ik^n t} - e^{ik^n t\prime}\right|^2 \\
&\leq 8\pi(1+k^2)^s |\hat{\varphi}(k)|^2,
\end{aligned}
$$

there we have used the triangular inequality (property of the norm) and the equality $|e^{i\theta}| = 1$ for $\theta \in R$. Thus,

$$
\sum_{k=-\infty}^{+\infty} I_{k,t} \leq 4\|\varphi\|^2_{H^s_{per}} < \infty \, ,
$$

and using the M-Test of Weierstrass Theorem, we have the series converges uniformly. Now, we can interchange limits, that is

$$
\lim_{t\to t\prime} \|u(t) - u(t')\|^2_{H^s_{per}} = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \underbrace{\lim_{t\to t\prime} I_{k,t}}_{=0} = 0
$$

and then we conclude

$$
\lim_{t\to t\prime} \|u(t) - u(t')\|_{H^s_{per}} = 0 \, .
$$

4. We will prove

$$\left\|\frac{u(t+h)-u(t)}{h}+\partial_x^n u(t)\right\|_{H_{per}^{s-n}} \to 0 \qquad \text{when } h\to 0\,.$$

In effect, let t∈R,

$$\left\|\frac{u(t+h)-u(t)}{h}+\partial_x^n u(t)\right\|_{H_{per}^{s-n}}^2$$

$$= 2\pi\sum_{k=-\infty}^{+\infty}(1+k^2)^{s-n}|\hat{\varphi}(k)|^2\left|\frac{e^{ik^n(t+h)}-e^{ik^nt}}{h}+(ik)^n e^{ik^nt}\right|^2$$

$$= 2\pi\sum_{k=-\infty}^{+\infty}(1+k^2)^{s-n}|\hat{\varphi}(k)|^2\left|e^{ik^nt}.M(h)\right|^2 \qquad (3.5)$$

where $M(h) := \left\{\frac{e^{ik^nh}-1}{h}-ik^n\right\}$.

Using L'Hospital we have $M(h)\to 0$ when $\mathrm{h}\to 0$.

Again, to interchange limits, we need the uniform convergence of the series. For this we will bound the k-th term of the series. Previously, for h≠0 we observe

$$\frac{e^{ik^nh}-1}{h} = \int_0^h \frac{1}{h}\frac{\partial}{\partial s}\{e^{ik^ns}\}ds$$
$$= \int_0^h \frac{1}{h}[ik^n]e^{ik^ns}ds$$

and taking norm, we have

$$\left|\frac{e^{ik^nh}-1}{h}\right| \le \frac{1}{h}|ik^n|\int_0^h \left|e^{ik^ns}\right|ds$$
$$\le \frac{1}{h}|k|^n.h$$
$$= |k|^n,$$

for h>0. That is,

$$\left|\frac{e^{ik^nh}-1}{h}\right| \le |k|^n \qquad (3.6)$$

for h>0. If h<0, (3.6) also holds. Using inequality (3.6), we are going to bound $|M(h)|^2$ as follows:

$$|M(h)|^2 \le \{2|k|^n\}^2$$
$$\le 4\{|k|^2\}^n$$
$$\le 4\{1+|k|^2\}^n \qquad (3.7)$$

Let us bound the k-th term of the series. Here we will use the estimation (3.7)

$$(1+k^2)^{s-n}|\hat{\varphi}(k)|^2|M\,(h)|^2 \leq 4(1+k^2)^{s-n}|\hat{\varphi}(k)|^2\{1+|k|^2\}^n$$
$$= 4(1+k^2)^s|\hat{\varphi}(k)|^2$$

and, since $2\pi\sum_{k=-\infty}^{+\infty}(1+k^2)^s|\hat{\varphi}(k)|^2 = \|\varphi\|_s^2 < \infty$ for $\varphi \in H_{per}^s$ using the M-Test of Weierstrass we get the series (3.5) converges uniformly and then it is possible to interchange limits and obtain

$$\left\|\frac{u(t+h)-u(t)}{h} + \partial_x^n u(t)\right\|_{s-n}^2 \rightarrow 0 \quad \text{when } h \rightarrow 0\,. \qquad (3.8)$$

5. We will prove the continuous dependency of the solution with respect to the initial data, that is, let φ and $\tilde{\varphi}$ be close data in H_{per}^s, then their corresponding solutions u and $\tilde{u}$, respectively, are also close in the solution space. Let $t \in R$,

$$\|u(t)-\tilde{u}(t)\|_{H_{per}^s}^2 = 2\pi\sum_{k=-\infty}^{+\infty}(1+k^2)^s\left|e^{ik^n t}\left(\hat{\varphi}(k)-\hat{\tilde{\varphi}}(k)\right)\right|^2$$
$$= 2\pi\sum_{k=-\infty}^{+\infty}(1+k^2)^s\ \left|\hat{\varphi}(k)-\hat{\tilde{\varphi}}(k)\right|^2$$
$$= \|\varphi-\tilde{\varphi}\|_{H_{per}^s}^2 \qquad (3.9)$$

Taking supremum over R we have

$$sup_{t\in R}\|u(t)-\tilde{u}(t)\|_{H_{per}^s} = \|\varphi-\tilde{\varphi}\|_{H_{per}^s}\,. \qquad (3.10)$$

Hence, we have: if $\varphi \rightarrow \tilde{\varphi}$ then $u \rightarrow \tilde{u}$.

6. Uniqueness of Solution. Equality (3.10) or (3.9) will allow us to prove the solution is unique. In effect, let $\varphi \in H_{per}^s$ and suppose there are u and u two solutions, then using (3.10) we have,

$$\|u(r)-\tilde{u}(r)\|_{H_{per}^s} = sup_{t\in R}\|u(t)-\tilde{u}(t)\|_{H_{per}^s} = \|\varphi-\varphi\|_{H_{per}^s} = 0, \qquad \forall r \in R$$

from where we conclude that $u = u$

Thus, problem (P_1) is well posed and its unique solution, which depends continuously on the initial data, is

$$u(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} e^{ik^n t}\hat{\varphi}(k)\varphi_k.$$

7. Now, we consider the case $r < s$. Here we have $H_{per}^s \subset H_{per}^r$ and since the initial data $\varphi \in H_{per}^s$, then $\varphi \in H_{per}^r$ and satisfies

$$\|\varphi\|_r \leq \|\varphi\|_s\,. \qquad (3.11)$$

From (3.3) for r and using (3.11) we get

$$\|u(t)\|_r^2 = \|\varphi\|_r^2 \leq \|\varphi\|_s^2 < \infty\,.$$

That is,

$$u(t) \in H^r_{per} \ , \forall r \in (-\infty, s) \ . \quad (3.12)$$

The case $r = s$ was already proven on the item 2.

Therefore, from (3.2) and (3.12), we conclude for $t \in R$

$$u(t) \in H^r_{per} \ , \ \forall r \in (-\infty, s] \ .$$

8. We will prove that $\partial_t u(\cdot)$ is continuous in R. Let t, $t' \in R$, using the inequality $\|\partial_x^m u(t)\|_{s-m} \leq \|u(t)\|_s$ and continuity of $u(\cdot)$, we obtain

$$\begin{aligned}\|\partial_t u(t) - \partial_t u(t')\|_{s-n} &= \|-\partial_x^n u(t) + \partial_x^n u(t')\|_{s-n} \\ &= \|\partial_x^n (u(t) - u(t'))\|_{s-n} \\ &\leq \|u(t) - u(t')\|_s \quad \to 0 \qquad (3.13)\end{aligned}$$

when $t \to t'$. That is, $\partial_t u \in C(R, H^{s-n}_{per})$.

9. Let $\varphi \in H^r_{per}$, if define $W(t)\varphi := \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (k^n i) e^{k^n it} \hat{\varphi}(k) \varphi_k$ then $W(t)\varphi$ and $\|W(t)\varphi\|_{s-n} \leq \|\varphi\|_s \ , \ \forall t \in R$. That is, $W(t) \in L(H^s_{per}, H^{s-n}_{per})$ with $\|W(t)\| \leq 1$.

In effect, using $|k^n i|^2 \leq (|k|^n)^2 = (|k|^2)^n \leq (1 + |k|^2)^n, \forall k \in Z$ and $|e^{i\theta}| = 1, \forall \theta \in R$, we have

$$\begin{aligned}\|W(t)\varphi\|^2_{s-n} &= 2\pi \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (1 + k^2)^{s-n} \left|(k^n i) e^{k^n it} \hat{\varphi}(k)\right|^2 \\ &= 2\pi \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (1 + k^2)^{s-n} |(k^n i)|^2 |\hat{\varphi}(k)|^2 \\ &\leq 2\pi \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (1 + k^2)^{s} |\hat{\varphi}(k)|^2 < \infty \\ &= \|\varphi\|^2_s \ .\end{aligned}$$

10. From item 4 and 9, we have $\partial_t u(t) = W(t)\varphi$.

Next, we have the following result

Corollary 3.1 The unique solution of (P_1) is

$$u(t) = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} e^{ik^n t} \hat{\varphi}(k) \varphi_k \ ,$$

where $\varphi_k(x) := e^{ikx}$ *for* $x \in R$.

Corollary 3.2 With the hypothesis of preceding Theorem, we obtain

1. $u \in C(R, H^r_{per}) \cap C^1(R, H^{r-n}_{per}) \ , \ \forall r < s$.
2. u satisfies

$$\|u(t)\|_r \leq \|\varphi\|_s \ , \ \forall t \in R \ , \ \forall r < s \ , \qquad (3.14)$$
$$\|\partial_t u(t)\|_{r-n} \leq \|\varphi\|_s \ , \ \forall t \in R \ , \ \forall r < s \ . \qquad (3.15)$$

3. That is,

$$\|u(t)-\tilde{u}(t)\|_r \leq \|\varphi-\tilde{\varphi}\|_s, \ \forall t\in R, \ \forall r<s,$$
$$sup_{t\in R}\|u(t)-\tilde{u}(t)\|_r \leq \|\varphi-\tilde{\varphi}\|_s, \ \forall r<s.$$

4. Moreover,

$$\|\partial_t u(t)-\partial_t\tilde{u}(t)\|_{r-n} \leq \|\varphi-\tilde{\varphi}\|_s, \ \forall t\in R, \ \forall r\leq s,$$
$$sup_{t\in R}\|\partial_t u(t)-\partial_t\tilde{u}(t)\|_{r-n} \leq \|\varphi-\tilde{\varphi}\|_s, \ \forall r<s.$$

Proof.- The inequality (3.14) follows of the Sobolev continuous imbedding.

We will use the Sobolev continuous Imbedding and item 9 for prove that if $\varphi\in H^s_{per}$ then $W(t)\varphi\in H^{r-n}_{per}$ and $\|W(t)\varphi\|_{r-n}\leq\|\varphi\|_s$, $\forall t\in R$, $\forall r<s$. That is, $W(t)\in L(H^s_{per}, H^{r-n}_{per})$ with $\|W(t)\|\leq 1$, $\forall r<s$.

In effect, using $|k^n i|^2\leq(1+|k|^2)^n$, $\forall k\in Z$ and $|e^{i\theta}|=1$, $\forall\theta\in R$, we have

$$\begin{aligned}\|W(t)\varphi\|^2_{r-n} &= 2\pi\sum_{k=-\infty}^{+\infty}(1+k^2)^{r-n}\left|(k^n i)e^{k^n it}\hat{\varphi}(k)\right|^2\\ &= 2\pi\sum_{k=-\infty}^{+\infty}(1+k^2)^{r-n}|(k^n i)|^2|\hat{\varphi}(k)|^2\\ &\leq 2\pi\sum_{k=-\infty}^{+\infty}(1+k^2)^{r}|\hat{\varphi}(k)|^2\\ &\leq 2\pi\sum_{k=-\infty}^{+\infty}(1+k^2)^{s}|\hat{\varphi}(k)|^2<\infty\\ &= \|\varphi\|^2_s \end{aligned} \qquad (3.16)$$

Now, we will introduce a family of operators which verify the condition of being a unitary group of class C_0.

Theorem 3.2 Let be s ∈ *R* and *n* an odd number such that n – 1 is an even number not multiple of four. The application

$$\begin{aligned} S_n: R &\rightarrow L(H^s_{per})\\ t &\rightarrow S(t)\end{aligned}$$

such that $S_n(t)=e^{-(\partial_x^n)t}$, that is, applies

$$S_n(t)\varphi=\left[\left(e^{ik^n t}\hat{\varphi}(k)\right)_{k\in Z}\right]^{\vee}, \qquad \forall\varphi\in H^s_{per},$$

then $\{S_n(t)\}_{t\in R}$ is a unitary group of class C_0 on H^s_{per}. Thus $\{S_n\}_{n\in M}$ is a family of unitary groups on H^s_{per}, where

And for simplicity we will denote to S_n as *S.*

Moreover, the following assertions hold:

1. *If* $\varphi\in H^s_{per}$ *then* $S(\cdot)\varphi\in C(R, H^s_{per})$.

2. *The application* $\varphi\rightarrow S(\cdot)\varphi$ is continuous and verifies:

$$\|S(t)\psi_1-S(t)\psi_2\|_{H^s_{per}}=\|\psi_1-\psi_2\|_{H^s_{per}}, \forall t\in R$$

and

$$sup_{t\in R}\|S(t)\psi_1 - S(t)\psi_2\|_{H^s_{per}} = \|\psi_1 - \psi_2\|_{H^s_{per}}$$

with $\psi_i \in H^s_{per}$ *for i* = 1, 2.

3. *If* $\varphi \in H^s_{per}$ *then* $\partial_t S(t)\varphi \in H^{s-n}_{per}$ and $\|\partial_t S(t)\varphi\|_{s-n} \le \|\varphi\|_s$, $\forall t \in R$. *That is,* $\partial_t S(t) \in L(H^s_{per}, H^{s-n}_{per})$, $\forall t \in R$, *where*

4. *If* $\varphi \in H^s_{per}$ *then* $\partial_t S(\cdot)\varphi \in C(R, H^{s-n}_{per})$.

5. *The application:* $\psi \to \partial_t S(\cdot)\psi$ is continuous and verifies:

$$\|\partial_t S(t)\psi_1 - \partial_t S(t)\psi_2\|_{H^{s-n}_{per}} \le \|\psi_1 - \psi_2\|_{H^s_{per}}, \forall t \in R$$

and

$$sup_{t\in R}\|\partial_t S(t)\psi_1 - \partial_t S(t)\psi_2\|_{H^{s-n}_{per}} \le \|\psi_1 - \psi_2\|_{H^s_{per}}$$

with $\psi_i \in H^s_{per}$ *for i* = 1, 2.

Proof.- We first observe $S(0)\varphi = [(\hat{\varphi}(k))_{k\in Z}]^\vee = [\hat{\varphi}]^\vee = \varphi$, $\forall \varphi \in H^s_{per}$, thus $S(0) = I$. From linearity of Fourier transformation and its inverse, we have that $S(t)$ is linear. In effect, let be $a \in \mathbb{C}$, $\varphi, \psi \in H^s_{per}$, we have

$$\begin{aligned} S(t)(a\varphi + \psi) &= \left[\left(e^{ik^n t}[a\varphi + \psi]^\wedge(k)\right)_{k\in Z}\right]^\vee \\ &= \left[\left(e^{ik^n t}\left[a\hat{\varphi}(k) + \hat{\psi}(k)\right]\right)_{k\in Z}\right]^\vee \\ &= \left[a\left(e^{ik^n t}\hat{\varphi}(k)\right)_{k\in Z} + \left(e^{ik^n t}\hat{\psi}(k)\right)_{k\in Z}\right]^\vee \\ &= a\left[\left(e^{ik^n t}\hat{\varphi}(k)\right)_{k\in Z}\right]^\vee + \left[\left(e^{ik^n t}\hat{\psi}(k)\right)_{k\in Z}\right]^\vee \\ &= aS(t)(\varphi) + S(t)(\psi)\ , \end{aligned}$$

for $t \in R$.

If $\varphi \in H^s_{per}$ and $t \in R - \{0\}$, we will prove that $S(t)\varphi \in H^s_{per}$ and $\|S(t)\varphi\|_s = \|\varphi\|_s$, that is $\|S(t)\| = 1$.

In effect, similar to (3.3), for $t \in R - \{0\}$ and $\varphi \in H^s_{per}$ we have

$$\begin{aligned} \|S(t)\varphi\|^2_{H^s_{per}} &= 2\pi \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (1 + k^2)^s \left|e^{ik^n t}\hat{\varphi}(k)\right|^2 \\ &= 2\pi \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (1 + k^2)^s |\hat{\varphi}(k)|^2 \\ &= \|\varphi\|^2_{H^s_{per}} < \infty\ . \end{aligned}$$

Then, $S(t)\varphi \in H^s_{per}$ and $\|S(t)\varphi\|_s = \|\varphi\|_s$, $\forall t \in$ R-$\{0\}$, that is $S(t) \in L(H^s_{per})$ with $\|S(t)\| = 1$, $\forall t \in R - \{0\}$.

Therefore,

$$\|S(t)\varphi\|_s = \|\varphi\|_s, \forall t \in R, \forall \varphi \in H^s_{per}. \qquad (3.17)$$

That is,

$$S(t) \in L(H^s_{per}) \text{ with } \|S(t)\| = 1, \ \forall t \in R. \qquad (3.18)$$

Now we will prove that $S(t+r) = S(t) \circ S(r), \forall t, r \in R$. In effect, let be $f \in H^s_{per}$ *and* $t, r \in R - \{0\}$,

$$\begin{aligned} S(t+r)f &= \left[\left(e^{ik^n(t+r)}\hat{f}(k)\right)_{k\in Z}\right]^{\vee} \\ &= \left[\left(e^{ik^n t}e^{ik^n r}\hat{f}(k)\right)_{k\in Z}\right]^{\vee} \qquad (3.19) \end{aligned}$$

We know that if $f \in H^s_{per}$ then $\hat{f} \in l^2_s$, that is

$$\sum_{k=-\infty}^{+\infty} (1+k^2)^s \left|\hat{f}(k)\right|^2 < \infty. \qquad (3.20)$$

We affirm that

$$\left(e^{ik^n r}\hat{f}(k)\right)_{k\in Z} \in l^2_s, \ \forall r \in R. \qquad (3.21)$$

Indeed, when $r = 0$ it is evident that the statement is true. Thus, we will prove the case $r \in R - \{0\}$. For this, it is enough to observe that

$$\begin{aligned} &\sum_{k=-\infty}^{+\infty} (1+k^2)^s \left|e^{ik^n r}\hat{f}(k)\right|^2 \\ &= \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (1+k^2)^s \underbrace{\left|e^{i2k^n r}\right|}_{=1} \left|\hat{f}(k)\right|^2 \\ &= \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (1+k^2)^s \left|\hat{f}(k)\right|^2 < \infty, \end{aligned}$$

since it worth (3.20).

Then, from (3.21) and taking the inverse Fourier transform, we have

$$\left[\left(e^{ik^n r}\hat{f}(k)\right)_{k\in Z}\right]^{\vee} \in H^s_{per}, \qquad \forall r \in R.$$

This motivates us to define

$$\left[g_r = \left(e^{ik^n r}\hat{f}(k)\right)_{k\in Z}\right]^{\vee} \in H^s_{per}.$$

That is,

$$g_r = S(r)f. \qquad (3.22)$$

Also, taking the Fourier transform to g_r we obtain

$$\widehat{g_r} = \left(e^{ik^n r}\hat{f}(k)\right)_{k\in Z},$$

that is

$$\widehat{g_r}(k) = e^{ik^n r}\hat{f}(k), \forall k \in Z. \qquad (3.23)$$

Using (3.23) in (3.19) and from (3.22) we have

$$\begin{aligned} S(t+r) &= \left[\left(e^{ik^n t}\widehat{g_r}(k)\right)_{k\in Z}\right]^{\vee} \\ &= S(t)g_r \\ &= S(t)[S(r)f] \\ &= [S(t)\circ S(r)]f\,,\quad \forall t,r\ \in R-\{0\}. \end{aligned}$$

Thus,

$$s(t+r) = S(t)\circ S(r), \forall t,r\ \in R-\{0\}. \qquad (3.24)$$

If $t = 0$ or $r = 0$, then the equality of (3.24) is also true, with this we conclude the proof of

$$S(t+r) = S(t)\circ S(r)\,,\ \forall t,r\in R\,. \qquad (3.25)$$

Now, we will prove the continuity of $t \to S(t)\varphi$

$$\|S(t+h)\varphi\ -\ S(t)\varphi\|_{H^s_{per}} \to 0\ \text{ when } h\to 0\,. \qquad (3.26)$$

In effect, using item 3 of the proof of the preceding theorem, we have

$$\begin{aligned} &\|S(t+h)\varphi\ -\ S(t)\varphi\|^2_{H^s_{per}} \\ &= 2\pi\sum_{k=-\infty}^{+\infty}(1+k^2)^s\left|(e^{ik^n(t+h)}-e^{ik^n t})\hat{\varphi}(k)\right|^2 \\ &= 2\pi\sum_{k=-\infty}^{+\infty}(1+k^2)^s|\hat{\varphi}(k)|^2\,|H(t+h)|^2 \qquad (3.27) \end{aligned}$$

where $H(t+h) := e^{ik^n(t+h)} - e^{ik^n t}$.

We observe that $\lim_{h\to 0} H(t+h) = 0\,.$

Now, we again need the uniform convergence of the series in order to interchange the limits. For this, we take the k-th term of the series and bound it with a convergent series, that is

$$\begin{aligned} I_{k,t,h} &:= 2\pi(1+k^2)^s|\hat{\varphi}(k)|^2\left|e^{ik^n(t+h)}-e^{ik^n t}\right|^2 \\ &\leq 8\pi(1+k^2)^s|\hat{\varphi}(k)|^2, \end{aligned}$$

where we have used the triangular inequality (property of the norm) and the equality $|e^{i\theta}| = 1$ for $\theta \in R$.

Thus,

$$\sum_{k=-\infty}^{+\infty} I_{k,t,h} \leq 4\|\varphi\|_s^2 < \infty, \qquad (3.28)$$

and using the M-Test Weierstrass Theorem we get the series in (3.28) converges uniformly. Then, interchanging limits is allowed, that is

$$\lim_{h\to 0}\|S(t+h)\varphi - S(t)\varphi\|_s^2 = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \underbrace{\lim_{h\to 0} I_{k,t,h}}_{=0} = 0$$

and from here we conclude

$$\lim_{h\to 0}\|S(t+h)\varphi - S(t)\varphi\|_s = 0.$$

Remark 3.1 It verifies

$$\lim_{h\to 0}\|S(t)\varphi - \varphi\|_s = 0, \forall \varphi \in H^s_{per}.$$

Remark 3.2 With the remark 3.1 we would have that $\{S(t)\}_{t\in R}$ is a group of class C_0.

Now, we will prove that the operator $S(t)$ is unitary $\forall t \in R$.

From identity (3.17) we have that $S(t)$ is isometric forall $t \in R$.

From (3.25) we get

$$S(t)\circ S(-t) = S(t-t) = S(0) = I,\ \forall t \in R \qquad (3.29)$$
$$S(-t)\circ S(t) = S(-t+t) = S(0) = I,\ \forall t \in R. \qquad (3.30)$$

Obviously, we see that (3.29) implies the surjectivity of $S(t)$ and that (3.30) implies the injectivity of $S(t)$. Therefore, $S(t)$ is bijective and

$$\exists\ S(t)^{-1} = S(-t),\ \forall t \in R. \qquad (3.31)$$

Since $S(t)$ isometric and surjective, we obtain that $S(t)$ is unitary $\forall t \in R$ (that is, $S(t)^* \circ S(t) = S(t) \circ S(t)^* = I$). Furthermore, from (3.31) we have $S(t)^* = S(-t)$, $\forall t \in R$.

Therefore, $\{S(t)\}_{t\in R}$ is a unitary group of class C_o on H^s_{per}

Let ψ_1 and ψ_2 close data in H^s_{per}, then we will prove that their corresponding $S(\cdot)\psi_1$ and $S(\cdot)\psi_2$, respectively, are also close. Since $\{S(t)\}_{t\in R}$ is unitary for $t \in R$, we have

$$\|S(t)\psi_1 - S(t)\psi_2\|_{H^s_{per}} = \|S(t)(\psi_1 - \psi_2)\|_{H^s_{per}} = \|\psi_1 - \psi_2\|_{H^s_{per}}.$$

Taking supremum over R we have

$$sup_{t\in R}\|S(t)\psi_1 - S(t)\psi_2\|_{H^s_{per}} = \|\psi_1 - \psi_2\|_{H^s_{per}}. \qquad (3.32)$$

From here we have that if $\psi_1 \to \psi_2$ then $S(\cdot)\psi_1 \to S(\cdot)\psi_2$.

We will prove: If $\varphi \in H^s_{per}$ then $\partial_t S(t)\varphi \in H^{s-n}_{per}$ and $\|\partial_t S(t)\varphi\|_{s-n} \le \|\varphi\|_s$.

In effect, using $|k^n i|^2 \le (|k|^n)^2 = (|k|^2)^n \le (1+|k|^2)^n$, $\forall k \in Z$ and $|e^{i\theta}| = 1$, $\forall \theta \in R$, we have

$$\begin{aligned}
\|\partial_t S(t)\varphi\|_{s-n}^2 &= 2\pi \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (1+k^2)^{s-n}\left|(k^n i)e^{ik^n t}\hat{\varphi}(k)\right|^2 \\
&= 2\pi \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (1+k^2)^{s-n}|k^n i|^2|\hat{\varphi}(k)|^2 \\
&\le 2\pi \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (1+k^2)^{s}|\hat{\varphi}(k)|^2 < \infty \\
&= \|\varphi\|_s^2\ .
\end{aligned}$$

That is, $\|\partial_t S(t)\varphi\|_{s-n} \leq \|\varphi\|_s$. From this inequality we obtain

$$\|\partial_t S(t)\phi_1 - \partial_t S(t)\phi_2\|_{s-n} \leq \|\phi_1 - \phi_2\|_s ,$$

with $\phi_i \in H^s_{per}$ for $i = 1, 2$.

So, taking supremum over R we have

$$sup_{t\in R} \|\partial_t S(t)\phi_1 - \partial_t S(t)\phi_2\|_{s-n} \leq \|\phi_1 - \phi_2\|_s .$$

Finally, if $\varphi \in$ we will prove the continuity of $t \to \partial_t S(t)\varphi$. That is

$$\|\partial_t S(t+h)\varphi - \partial_t S(t)\varphi\|_{s-n} \to 0 \text{ when } h \to 0 .$$

In effect, as item 3 of the proof of the preceding theorem, we have

$$\begin{aligned}
&\|\partial_t S(t+h)\varphi - \partial_t S(t)\varphi\|^2_{s-n} \\
&= 2\pi \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (1+k^2)^{s-n} \left|\left(e^{ik^n(t+h)} - e^{ik^n t}\right).(k^n i)\hat{\varphi}(k)\right|^2 \\
&= 2\pi \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (1+k^2)^{s-n} \left|\left(e^{ik^n h} - 1\right)\left(e^{ik^n t}\right).(k^n i)\hat{\varphi}(k)\right|^2 \\
&= 2\pi \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (1+k^2)^{s-n} \left|e^{ik^n h} - 1\right|^2 \left|e^{ik^n t}\right|^2 . |k^n i|^2 |\hat{\varphi}(k)|^2 \\
&= 2\pi \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (1+k^2)^{s-n} |H(h)|^2 . |k^n i|^2 |\hat{\varphi}(k)|^2 \qquad (3.33)
\end{aligned}$$

where $H(h) := e^{ik^n h} - 1$.

We observe that $\lim_{h\to 0} H(h) = 0$.

Now, we again need the uniform convergence of the series in order to interchange the limits. For this, we take the k-th term of the series and bound it with a convergent series, that is

$$\begin{aligned}
I_{k,t,h} &= 2\pi(1+k^2)^{s-n}|H(h)|^2 . |k^n i|^2 |\hat{\varphi}(k)|^2 \\
&\leq 8\pi(1+k^2)^s |\hat{\varphi}(k)|^2 ,
\end{aligned}$$

where we have used the triangular inequality (property of the norm), $|k^n i|^2 \leq (1 + |k|^2)^n, \forall k \in Z$ and the equality $\left|e^{i\theta}\right| = 1$ for $\theta \in R$.

Thus,

$$\sum_{k=-\infty}^{+\infty} I_{k,t,h} \leq 4\|\varphi\|^2_s < \infty , \qquad (3.34)$$

and using the M-Test Weierstrass Theorem we get the series in (3.34) converges uniformly. Then, interchanging limits is allowed, that is

$$\lim_{h\to 0} \|\partial_t S(t+h)\varphi - \partial_t S(t)\varphi\|^2_{s-n} = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \underbrace{\lim_{h\to 0} I_{k,t,h}}_{=0} = 0$$

hence we conclude

$$\lim_{h\to 0}\|\partial_t S(t+h)\varphi - \partial_t S(t)\varphi\|_{s-n} = 0\,.$$

We will give some additional properties of $\{S(t)\}_{t\in R}$.

Corollary 3.3 With the hypothesis of preceding Theorem, the following assertions hold

1. If $\phi \in H^s_{per}$ *then* $S(t)\phi \in H^s_{per}$ and $\|S(t)\phi\|_r \le \|\phi\|_s,\ \forall t\in R,\ \forall r<s.$ That is $S(t) \in L(H^s_{per},\ H^r_{per}),\ \forall t\in R,\ \forall r<s.$
2. If $\phi \in H^s_{per}$ *then* $S(\cdot)\phi \in C(R, H^r_{per}),\ \forall r<s.$
3. The application: $\phi \to S(\cdot)\phi$ is continuous and verifies:

$$\|S(t)\phi_1 - S(t)\phi_2\|_r \le \|\phi_1-\phi_2\|_s,\ \forall t\in R,\ \forall r<s,$$
$$sup_{t\in R}\|S(t)\phi_1 - S(t)\phi_2\|_r \le \|\phi_1-\phi_2\|_s,\ \forall r<s$$

with $\phi_i \in H^s_{per}$ for $i = 1, 2$.

4. If $\phi \in H^s_{per}$ then $\partial_t S(t)\phi \in H^{r-n}_{per}$ and $\|\partial_t S(t)\phi\|_{r-n} \le \|\phi\|_s,\ \forall t\in R,\ \forall r<s.$

That is $\partial_t S(t) \in L(H^s_{per}, H^{r-n}_{per}),\ \forall t\in R,\ \forall r<s$ where

$$\partial_t S(t)\varphi = \left[\left((ik^n)e^{ik^n t}\hat{\varphi}(k)\right)_{k\in Z}\right]^{\vee} \in H^{r-n}_{per}, \qquad \forall\,\varphi \in H^s_{per}, \forall r<s\,.$$

5. If $\phi \in H^s_{per}$ then $\partial_t S(\cdot)\phi \in C(R, H^{r-n}_{per}),\ \forall r<s.$
6. The application: $\phi \to \partial_t S(\cdot)\phi$ is continuous and verifies:

$$\|\partial_t S(t)\phi_1 - \partial_t S(t)\phi_2\|_{r-n} \le \|\phi_1-\phi_2\|_s,\ \forall t\in R,\ \forall r<s,$$
$$sup_{t\in R}\|\partial_t S(t)\phi_1 - \partial_t S(t)\phi_2\|_{r-n} \le \|\phi_1-\phi_2\|_s,\ \forall r<s$$

with $\phi_i \in H^s_{per}$ for $i = 1, 2$.

Proof.- Its proof is analogous to the proof of the second Corollary of Theorem 3.1, where we use Sobolev imbedding.

Following, we state the Theorem 3.1 in function of the group $\{S(t)\}_{t\in R}$.

Theorem 3.3 Let be $s \in R$, n an odd number such that n – 1 is an even number not multiple of four and $\{S(t)\}_{t\in R}$ the group of class C_0 from Theorem 3.2, then $S(\cdot)\varphi$ is the unique solution of

$$\begin{cases} u \in C(R, H^s_{per}) \cap C^1(R, H^{s-n}_{per}) \\ u_t = Au \ \ in\ \ H^{s-n}_{per} \\ u(0) = \varphi \in H^s_{per} \end{cases}$$

in the sense that

$$\lim_{h\to 0}\left\|\frac{S(t+h)\varphi - S(t)\varphi}{h} - AS(t)\varphi\right\|_{H^{s-n}_{per}} = 0 \qquad (3.35)$$

where $A := -\partial_x^n$, and if $\varphi_1 \sim \varphi_2$ then $S(\cdot)\varphi_1 \sim S(\cdot)\varphi_2$.

Moreover, the following regularity is satisfied: If $\varphi \in H^s_{per}$ then $S(t)\varphi \in H^r_{per}, \forall r \le s,$

$\forall t \in R$ and $\|S(t)\varphi\|_{H^r_{per}} \leq \|\varphi\|_{H^s_{per}}, \forall t \in R,\ \forall r \leq s.$

Also, $\|\partial_t S(t)\varphi\|_{H^{r-n}_{per}} \leq \|\varphi\|_{H^s_{per}}, \forall t \in R,\ \forall r \leq s,\ \forall \varphi \in\ H^s_{per}$.

Proof.- The proof of (3.35) is analogous to the item 4 of the proof of Theorem 3.1. And the proof of the remaining statement is also similar to the proof of Theorem 3.1 and as a consequence of Theorem 3.2.

CONSERVATIVE PROPERTY OF THE PROBLEM (P_1)

Theorem 4.1 Let n is an odd number such that *n−1* is an even number not multiple of four and w the solution of (P_1) with initial data $\varphi \in H^s_{per}$ then we obtain the following results:

1. $\partial_t \|w(t)\|^2_{s-n} = 0.$
2. $\|w(t)\|_{s-n} = \|\varphi\|_{s-n} \leq \|\varphi\|_s\,,\ t \in R\,.$

Proof.- As $H^s_{per} \subset\ H^{s-n}_{per}$ then the following expressions: $\langle \partial_t w, w\rangle_{s-n}$ and $\langle w, \partial_t w\rangle_{s-n}$ are well defined.

So, we have

$$\begin{aligned} \partial_t \|w(t)\|^2_{s-n} &= \partial_t \langle w(t), w(t)\rangle_{s-n} \\ &= \langle \partial_t w(t), w(t)\rangle_{s-n} + \langle w(t), \partial_t w(t)\rangle_{s-n} \\ &= 2Re\ \langle \partial_t w(t), w(t)\rangle_{s-n}\,. \end{aligned} \tag{4.1}$$

Also, we obtain

$$\begin{aligned} \langle \partial_x^n w(t), w(t)\rangle_{s-n} &= 2\pi \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (1+k^2)^{s-n} \widehat{\partial_x^n w}(k) \cdot \overline{\widehat{w}(k)} \\ &= 2\pi \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (1+k^2)^{s-n} (ik)^n \widehat{w}(k) \cdot \overline{\widehat{w}(k)} \\ &= -i\ \underbrace{2\pi \sum_{k=-\infty}^{+\infty} (1+k^2)^{s-n} k^n |\widehat{w}(k)|^2}_{b:=}\ , \end{aligned} \tag{4.2}$$

noting $(ik)^n = -ik^n$ when n is an odd number such that n – 1 is an even number not multiple of four.

Now, we will prove that the series of the equality (4.2) is convergent. In effect, using the inequality: $|k|^n \leq\ |k|^{2n} = (|k|^2)^n \leq\ (1+|k|^2)^n$ and $w(t) \in H^s_{per}$ we have

$$\left|\sum_{k=-\infty}^{+\infty}(1+k^2)^{s-n}k^n|\widehat{w}(k)|^2\right| \leq \sum_{k=-\infty}^{+\infty}(1+k^2)^{s-n}|k|^n|\widehat{w}(k)|^2$$

$$\leq \sum_{k=-\infty}^{+\infty}(1+k^2)^{s-n}(1+|k|^2)^n|\widehat{w}(k)|^2$$

$$= \sum_{k=-\infty}^{+\infty}(1+k^2)^{s}|\widehat{w}(k)|^2 \;=\; \frac{1}{2\pi}\|w(t)\|_s^2 < \infty\,.$$

Then the series (4.2) is convergent, that is,

$$\langle \partial_x^n w(t), w(t)\rangle_{s-n} = -ib\,, \qquad \text{with } b \in R\,. \tag{4.3}$$

From (4.1), using $\partial_t w = -\partial_x^n w$ and the equality (4.3) we get

$$\begin{aligned}
\partial_t\|w(t)\|_{s-n}^2 &= 2Re\,\langle \partial_t w(t), w(t)\rangle_{s-n}\\
&= 2Re\,\langle -\partial_x^n w(t), w(t)\rangle_{s-n}\\
&= -2\,\underbrace{Re\,\langle \partial_x^n w(t), w(t)\rangle_{s-n}}_{=0}\\
&= 0\,.
\end{aligned}$$

Therefore, $\|w(t)\|_{s-n}^2$ is a constant. Then, $\|w(t)\|_{s-n}^2 = \|w(0)\|_{s-n}^2, \forall\, t \in R$.

As $(\|w(t)\|_{s-n} - \|w(0)\|_{s-n})(\|w(t)\|_{s-n} + \|w(0)\|_{s-n}) = 0$, we have

$$\|w(t)\|_{s-n} = \|w(0)\|_{s-n} \leq \|w(0)\|_s\,, \qquad \forall t \in R.$$

That is, $\|w(t)\|_{s-n} = \|\varphi\|_{s-n} \leq \|\varphi\|_s$, $\forall t \in R$.

Corollary 4.1 [Continuous dependence of the solution of (P_1)] Let *u* and *v* solutions of (P_1) with initial data ψ_1 and ψ_2 in H_{per}^s, respectively. Then the following assertions hold

$$\partial_t\|u(t)-v(t)\|_{s-n}^2 = 0$$

and

$$\|u(t)-v(t)\|_{s-n} = \|\psi_1-\psi_2\|_{s-n} \leq \|\psi_1-\psi_2\|_s\,, \quad t \in R. \tag{4.4}$$

Proof.- Define $w := u - v$ then *w* satisfies

$$\begin{cases}\partial_t w + \partial_x^n w = 0\\ w(0) = \psi_1 - \psi_2\,.\end{cases}$$

We conclude using the Theorem 4.1.

Corollary 4.2 [Uniqueness of solution of (P_1)] The problem (P_1) has a unique solution.

Proof.- In effect, let *u* and *v* solutions of (P_1) with the same initial data, that is $\psi_1=\psi_2=\psi$.

From (4.4) we obtain $\|u(t)-v(t)\|_{s-n} \leq \|0\|_s = 0$. Then, $\|u(t)-v(t)\|_{s-n} = 0$. So, $v(t)$, $\forall t \in R$, that is $u = v$.

OTHER RESULTS TO N-TH ORDER EQUATION

Remark 5.1 Results analogous to theorem 3.1 are obtained when n is an odd number

such that *n–1* is an even number multiple of four, where the solution would be

$$v(t) = \left[\left(e^{-ik^n t}\hat{\varphi}(k)\right)_{k\in Z}\right]^{\vee}$$

for the initial data $\varphi \in H^s_{per}$.

Remark 5.2 Results analogous to theorem 3.2, Corollary 3.2, are also obtained when n is an odd number such that *n–1* is an even number multiple of four, where the family of operators introduced is

$$T(t)\varphi = \left[\left(e^{-ik^n t}\hat{\varphi}(k)\right)_{k\in Z}\right]^{\vee}, \qquad \forall\, \varphi \in H^s_{per}.$$

Therefore, the version analogous to theorem 3.3 is valid.

Remark 5.3 Results analogous to theorem 4.1, Corollaries 4.1 and 4.2 are also obtained when n is an odd number such that *n–1* is an even number multiple of four, in this case, note that $(ik)^n = i\,k^n, \forall\, k\in Z$.

Remark 5.4 When n is an even number multiple of four, the problem (P_1) has a solution and the associated family of operators

$$\Gamma(t)\varphi = \left[\left(e^{-k^n t}\hat{\varphi}(k)\right)_{k\in Z}\right]^{\vee}, \qquad \forall\, \varphi \in H^s_{per}$$

forms a contraction semigroup. Note that $(ik)^n = k^n \geq 0, \forall\, k\in Z$.

Furthermore, the dissipative property of problem (P_1) is obtained using the same technique explained in section 4. Finally,

Remark 5.5 When n is an even number not a multiple of four, the problem (P_1) has no solution.

CONCLUSIONS

By Fourier theory, we proved in detail the existence and uniqueness of solution to the model (P_1) when n is an odd number such that n – 1 is an even number not multiple of four, as well as the continuous dependency of the solution respect to the initial data. Later on, we introduced the group theory to rewrite the solution of problem (P_1) by this theory, making it much more fine. We used unitary groups theory and get important results of existence and approximation.

We showed the conservative property of the homogeneous problem, which allowed us to deduce the continuous dependence (with respect to the initial data) and uniqueness solution of (P_1).

Finally, we generalized the results for the *n*-th order equation when *n* is an odd number such that *n* – 1 is an even number multiple of four. And we analyzed (P_1) for the other cases of *n*.

REFERENCES

[1] Iorio, R. and Iorio, V. Fourier Analysis and partial Differential Equations. Cambridge University, 2002.

[2] Liu Z. and Zheng S. Semigroups associated with dissipative system. Chapman Hall/CRC, 1999.

[3] Pazy A. Semigroups of linear operator and applications to partial differential equations. Applied Mathematical Sciences. 44 Springer Verlag. Berlín, 1983.

[4] Santiago Ayala, Yolanda (2012) Global existence and exponential stability for a coupled wave system Journal of Mathematical Sciences: Advances and Applications, 16(12)(2012), 29-46.

[5] Santiago Ayala, Yolanda Tópicos de Análisis Funcional. Fundamentos y Aplicaciones. Alemania, Editorial Académica Española, 2014.

[6] Santiago Ayala, Y. and Rojas, S. Regularity and wellposedness of a problem to one parameter and its behavior at the limit, Bulletin of the Allahabad Mathematical Society, 32(02)(2017), 207-230.

[7] Santiago Ayala, Y. and Rojas, S. Existencia y regularidad de solución de la ecuación del calor en espacios de Sobolev periódico, Selecciones Matemáticas, 06(01)(2019), 49-65.

[8] Santiago Ayala, Y. and Rojas, S. Espacios de Sobolev periódico y análisis de ecuaciones de evolución, Saarbrucken, Editorial Académica Española, 2021.

CONDUTIVIDADE MOLAR NA CARACTERIZAÇÃO DE COMPLEXOS DE PALÁDIO(II): REVISÃO BIBLIOGRÁFICA (ANO 2018-2024)

Data de submissão: 06/12/2024 *Data de aceite: 02/01/2025*

Thais Castro Silva Ribeiro
Universidade Federal da Grande Dourados
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia
Dourados - MS
http://lattes.cnpq.br/9243687592026050

Rayane Yasmin Ribeiro Centurion
Universidade Federal da Grande Dourados
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia
Dourados - MS
http://lattes.cnpq.br/4823201276896637

Alessandra Stevanato
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Londrina Departamento Acadêmico de Química
Londrina - PR
http://lattes.cnpq.br/9881117368267928

Adriana Pereira Duarte
Fundação Universidade Federal do Mato Grosso do Sul
Instituto de Química
Campo Grande - MS
http://lattes.cnpq.br/1602556930305658

Keila Batista Dias
Universidade Federal da Grande Dourados
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia
Dourados - MS
http://lattes.cnpq.br/5809747061480300

Cristiana da Silva
Universidade Federal da Grande Dourados
Faculdade de Ciências Exatas e Tecnologia
Dourados - MS
http://lattes.cnpq.br/2680068218560864

RESUMO: Este estudo apresenta uma revisão sobre a condutividade molar de complexos de paládio(II), destacando a relevância desse parâmetro na caracterização estrutural e eletroquímica desses compostos. Dada a grande quantidade de publicações sobre o tema entre 2018 a 2024, a pesquisa concentra-se na análise de complexos de paládio(II) solúveis nos solventes DMSO e DMF. A partir dessa análise, foi possível realizar uma comparação detalhada entre os complexos neutros e eletrolíticos, correlacionando seus

valores de condutividade molar com os dados estabelecidos na literatura. Os resultados obtidos contribuem para o aprofundamento do entendimento das propriedades eletroquímicas desses complexos, consolidando a condutividade molar como um parâmetro fundamental para a elucidação de suas características estruturais.
PALAVRAS-CHAVE: complexos de paládio(II). condutividade molar. busca bibliográfica.

MOLAR CONDUCTIVITY IN THE CHATACTERIZATION OF PALLADIUM(II) COMPLEXES: BIBILIOGRAPHIC REVIEW (YEAR 2018-2024)

ABSTRACT: This study presents a review of the molar conductivity of palladium(II) complexes, highlighting the importance of this parameter for their structural and electrochemical characterization. Given the extensive body of literature published between 2018 and 2024, the focus is on analyzing palladium(II) complexes soluble in DMSO and DMF. A thorough comparison was made between neutral and electrolytic complexes, correlating their molar conductivity values with those reported in the literature. The findings contribute to a deeper understanding of the electrochemical properties of these complexes, establishing molar conductivity as a crucial parameter for elucidating their structural characteristics.
KEYWORDS: palladium(II) complexes. molar conductivity. bibliographic search.

1 I INTRODUÇÃO

Os compostos de coordenação, também conhecidos como complexos, constituem uma classe de espécies químicas formadas por um íon metálico central ligado a moléculas ou íons denominados ligantes. Esses compostos apresentam características estruturais e químicas diversas, devido à capacidade do íon metálico central de formar ligações adicionais que excedem seu estado de oxidação ou valência convencional[1-5]. Entre as diversas geometrias observadas, destaca-se a octaédrica (figura 1), onde seis ligantes ocupam posições equidistantes ao redor do metal central, refletindo a complexidade e a versatilidade dessa área da química.

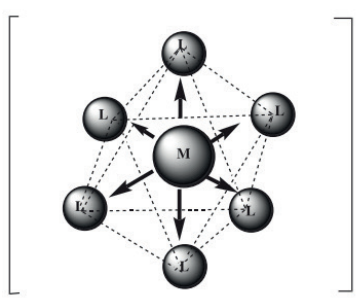


Figura 1 – Modelo de coordenação proposto por Alfred Werner. (M= metal e L = ligantes)

Fonte: Adaptado [**4-5**].

A formulação moderna da química de coordenação foi inicialmente estabelecida pelos estudos pioneiros de Alfred Werner (figura 2) no início do século XX.



Figura 2 – Alfred Werner

Fonte: Adaptado [**4**].

Werner, utilizando experimentos de condutividade molar de compostos contendo aminas dissolvidos em água (tabela 1), propôs dois conceitos fundamentais que definiram a estrutura e a reatividade desses compostos: (i) a existência de duas valências distintas no metal central - a valência primária, que descreve as ligações diretas entre o metal e os ligantes na esfera de coordenação interna, e a valência secundária, associada à neutralização da carga do complexo por íons ou moléculas presentes na esfera de coordenação externa; e (ii) a orientação fixa dessas valências no espaço, responsável pela geometria característica de cada complexo. Esses avanços experimentais foram cruciais para o desenvolvimento de modelos teóricos que descrevem a química dos complexos e consolidaram a relevância dos estudos de condutividade molar na determinação estrutural dessas espécies[5-9].

Fórmula empírica	**Condutividade (C= 0,001 mol L^{-1})**	**Formulação de Werner**
	Não eletrólitos	
$PtCl_4.2NH_3$	3,52	$[PtCl_4(NH_3)_2]$ (*trans*)
$PtCl_4.2NH_3$	6,99	$[PtCl_4(NH_3)_2]$ (*cis*)
	Eletrólitos 1:1	
$PtCl_{4.}3NH_3$	96,80	$[PtCl_3(NH_3)_3]Cl$
$PtCl_{4.}3NH_{3.}KCl$	106,80	$K[PtCl_5(NH_3)]$
	Eletrólitos 2:1	
$CoCl_3.5NH_3$	261,30	$[CoCl(NH_3)_5]Cl_2$
$PtCl_4.4NH_3$	228,90	$[PtCl_2(NH_3)_4]Cl_2$
	Eletrólitos 3:1	
$CoCl_3.6NH_3$	431,60	$[Co(NH_3)_6]Cl_3$
$PtCl_{4.}5NH_3$	404,00	$[PtCl(NH_3)_5]Cl_3$
	Eletrólito 4:1	
$PtCl_4.6NH_3$	522,90	$[Pt(NH_3)_6]Cl_4$

Tabela 1- Formulações de compostos inorgânicos proposto por Alfred Werner.

Fonte: [**6-8**]

Embora Werner tenha utilizado a água como solvente devido às suas propriedades favoráveis, como alta constante dielétrica, baixa viscosidade e boa capacidade de solvatação, algumas limitações foram identificadas, incluindo a dificuldade de dissolução de determinados complexos e a possibilidade de coordenação direta da água ao metal, alterando sua estrutura. Esses desafios impulsionaram o uso de solventes orgânicos, como o dimetilsulfóxido (DMSO) e a dimetilformamida (DMF), que oferecem vantagens adicionais, especialmente na caracterização de complexos por condutividade molar em sistemas onde a água não é adequada[6-8].

Um marco na caracterização de complexos por condutividade molar em solventes orgânicos foi estabelecido pelo trabalho de William J. Geary, publicado em 1971 na revista *Coordination Chemistry Reviews*. Em seu artigo intitulado *"The use of conductivity measurements in organic solvents for the characterisation of coordination compounds"*, Geary sistematizou a aplicação dessa técnica, permitindo a determinação precisa do comportamento eletrolítico e da carga total dos complexos em solução orgânica. Esse estudo inspirador, que já acumulou mais de 12.826 citações no Google Acadêmico, permanece uma referência essencial na química de coordenação, destacando a importância de medições de condutividade molar em solventes orgânicos para a caracterização estrutural[8].

Dando continuidade a essa abordagem, o presente trabalho investiga a condutividade molar de complexos neutros e eletrolíticos de paládio(II) em DMSO e DMF, com dados obtidos entre 2018 a 2024. Este estudo busca aprofundar o entendimento sobre o comportamento eletroquímico desses complexos em diferentes solventes, contribuindo para o avanço do conhecimento sobre a interação metal-solvente e suas implicações em áreas como catálise, química supramolecular e desenvolvimento de novos materiais funcionais.

2 | PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Comentários gerais

A revisão bibliográfica foi realizada de maneira criteriosa, utilizando estratégias sistemáticas para a seleção de artigos científicos relevantes ao tema. A busca inicial incluiu a leitura de resumos (abstracts) para identificar estudos pertinentes, complementada pelo uso de palavras-chave específicas em combinação com operadores booleanos, o que permitiu uma filtragem eficiente e precisa das publicações. Esse método otimizou a identificação de trabalhos alinhados aos objetivos do estudo.

Dado o expressivo número de artigos publicados entre 2018 a 2024 sobre condutividade molar de complexos metálicos em diferentes solventes, a análise foi delimitada a estudos que investigam especificamente complexos de paládio(II) nos solventes dimetilsulfóxido (DMSO) e dimetilformamida (DMF). Esses solventes foram escolhidos devido à sua relevância em caracterizações eletroquímicas e estruturais de

compostos de coordenação, sendo amplamente utilizados em estudos contemporâneos pela capacidade de dissolver complexos metálicos e minimizar efeitos interferentes, como a coordenação não desejada do solvente ao metal central. Essa abordagem garante a coerência e a aplicabilidade dos dados analisados.

3 I RESULTADOS

Análise dos dados da pesquisa bibliográfica

Os dados obtidos na pesquisa bibliográfica foram organizados e analisados cronologicamente, conforme apresentado na tabela 2, abrangendo publicações do período de 2018 a 2024. Essa análise foi estruturada com base nos seguintes critérios:

1. Número de artigos publicados anualmente (tabela 3);
2. Quantidade de complexos estudados por ano (tabela 4);
3. Classificação dos complexos neutros e eletrolíticos em cada ano (tabela 5);
4. Distribuição dos complexos em mononucleares, binucleares, polinucleares e polímeros (tabela 6).

Foram analisados 63 artigos publicados entre 2018 e 2024, englobando um total de 155 complexos de paládio(II). Dado que esses complexos apresentam baixa solubilidade em solventes polares, os estudos priorizaram os solventes dimetilsulfóxido (DMSO) e dimetilformamida (DMF), amplamente reconhecidos na caracterização de compostos de coordenação devido à sua alta viscosidade e propriedades apolares. Dentre os artigos analisados, 42 utilizaram DMSO como solvente, enquanto 22 empregaram DMF.

Um destaque importante foi o trabalho de Adam, M. S. S[72], que avaliou a condutividade molar de um mesmo complexo de paládio(II) em ambos os solventes, DMSO e DMF, permitindo uma comparação direta entre eles. A concentração molar mais comumente relatada foi de 1×10^{-3} mol/L, com 118 complexos estudados em DMSO e 38 em DMF.

A análise dos dados de condutividade molar possibilitou a classificação dos complexos como neutros ou eletrolíticos, uma informação crucial para a compreensão de suas propriedades estruturais e eletroquímicas. Os resultados, apresentados nas tabelas 3 e 6, indicaram que 108 dos complexos analisados foram classificados como neutros, enquanto 47 foram identificados como eletrolíticos. Essa diferenciação ressalta a relevância da condutividade molar como ferramenta fundamental na caracterização de complexos de coordenação, especialmente no estudo dos complexos de paládio(II), contribuindo para o avanço no entendimento de seu comportamento em solução e suas potenciais aplicações.

Outro aspecto relevante da pesquisa foi a análise das estruturas dos complexos de paládio(II) descritos nos artigos selecionados. Dentre os 155 complexos analisados, 145 apresentaram estruturas mononucleares, contendo um único átomo de paládio, enquanto 9 foram classificados como binucleares ou polinucleares, contendo dois ou mais átomos

de paládio em sua estrutura. Além disso, um polímero[30] foi identificado (tabela 6), com a fórmula estrutural [Pd(bta)(μ-Cl)]$_2$, o qual apresentou uma condutividade molar de 22 Ω^{-1} cm² mol^{-1} em DMSO, valor indicativo de um complexo neutro.

Os valores de condutividade molar observados para os complexos neutros variaram entre 0,06 e 33,79 Ω^{-1} cm² mol^{-1} em DMSO (tabela 7) e 2,0 a 44,00 Ω^{-1} cm² mol^{-1} em DMF (tabela 8). Para os complexos eletrolíticos, os valores de condutividade foram variando de 39,2 a 140,00 Ω^{-1} cm² mol^{-1} em DMSO e de 50,0 a 296,9 Ω^{-1} cm² mol^{-1} em DMF. Notou-se também que os complexos eletrolíticos apresentam diferentes estequiometrias, como 1:1, 1:2, 1:3 e 1:4, sendo que os complexos com estequiometria 1:4 apresentou o maior valor de condutividade molar. O maior valor registrado foi 296,9 Ω^{-1} cm² mol^{-1}, obtido em DMF para o complexo de fórmula estrutural[49], [$C_{76}H_{54}Cl_4N_{12}S_4Pd_4$]($PF_6$)$_4$.9$H_2O$, corroborando a influência da estequiometria e da escolha do solvente nas propriedades de condutividade dos complexos. Esses resultados ressaltam a importância da condutividade molar como uma ferramenta crucial para a caracterização e elucidação estrutural de complexos de paládio(II), fornecendo informações valiosas sobre seu comportamento eletroquímico e suas potenciais aplicações.

Resultados de pesquisa bibliográfica entre os anos de 2018 a 2024

Complexos	Condutividade	Solvente	Referências
[Pd(HL)Cl_2]H_2O	27,00	DMSO	**[10]**
[Pd(L1)$_2$]	2,60 - 4,70	DMSO	**[11]**
[Pd(L2)$_2$]	2,60 - 4,70	DMSO	**[11]**
[Pd(L3)$_2$]	2,60 - 4,70	DMSO	**[11]**
[Pd(HL^1)Cl_2]2H_2O	15,00	DMF	**[12]**
[Pd(H_2L^2)Cl_2]	16,00	DMF	**[12]**
$C_{18}H_{13}NO_4Pd$	24,00	DMF	**[13]**
[PdL^1(H_2O)Cl]	13,46	DMSO	**[14]**
[PdL^2(H_2O)Cl]	12,23	DMSO	**[14]**
[Pd_2LCl_2]2H_2O	0,06	DMSO	**[15]**
[Pd(L^1)$_2$](AcO)$_2$ H_2O	80,00	DMF	**[16]**
[Pd(L^2)$_2$](AcO)$_2$ H_2O	74,00	DMF	**[16]**
[PdL]Cl_2 0,5 EtOH	115,00	DMF	**[17]**
[Pd(L^1)$_2$]Cl_2 0,5 H_2O	81,20	DMF	**[18]**
[Pd(L^1)$_2$](AcO)$_2$ CH_3OH	77,50	DMF	**[18]**
[NBAPd]	23,51	DMF	**[19]**
[PdLCl_2]H_2O	11,40	DMF	**[20]**
[Pd($C_{16}H_{13}N_5O_5S$)$_2$]	15,81	DMSO	**[21]**
[Pd($C_{11}H_9N_3O_4$)$_2$]	9,95	DMSO	**[21]**
[Pd_2(HL)$_2$$Cl_2$]	14,23	DMSO	**[22]**

cis-$[PdCl_2(btt)_2]$	12,00	DMSO	**[23]**
$[Pd(btt)_2(bipy)]Cl_2$	74,00	DMSO	**[23]**
$[Pd(btt)_2(en)]Cl_2$	84,00	DMSO	**[23]**
$[Pd(btt)_2(dap)]Cl_2$	66,00	DMSO	**[23]**
$[Pd(btt)_2(phen)]Cl_2$	71,00	DMSO	**[23]**
$[Pd(btt)_2(dppe)]Cl_2$	77,00	DMSO	**[23]**
$[Pd(btt)_2(dpp)]Cl_2$	88,00	DMSO	**[23]**
$[Pd(btt)_2(dppf)]Cl_2$	80,00	DMSO	**[23]**
$[Pd(btt)_2(\kappa^1\text{-}dppm)_2]Cl_2$	90,00	DMSO	**[23]**
cis-$[Pd(btt)_2(PPh_3)_2]Cl_2$	91,00	DMSO	**[23]**
trans-$[Pd(btt)_2(PPh_3)_2]Cl_2$	79,00	DMSO	**[23]**
cis-$[PdCl_2(Hbto)_2]$	0,50	DMSO	**[24]**
$[Pd(Hbto)_2(\kappa^2\text{-}en)]Cl_2$	130,00	DMSO	**[24]**
$[Pd(Hbto)_2(\kappa^2\text{-}bipy)]Cl_2$	137,00	DMSO	**[24]**
$[Pd(Hbto)_2(\kappa^2\text{-}phen)]Cl_2$	140,00	DMSO	**[24]**
$[Pd(Hbto)_2(\kappa^2\text{-}dppm)]Cl_2$	133,00	DMSO	**[24]**
$[Pd(Hbto)_2(\kappa^2\text{-}dppe)]Cl_2$	140,00	DMSO	**[24]**
$[Pd(Hbto)_2(\kappa^2\text{-}dppp)]Cl_2$	138,00	DMSO	**[24]**
$[Pd(Hbto)_2(\kappa^2\text{-}dppf)]Cl_2$	129,00	DMSO	**[24]**
cis-$[Pd(Hbto)_2(PPh_3)_2]Cl_2$	129,00	DMSO	**[24]**
$[Pd(OVAP)H_2O]$	6,50	DMF	**[25]**
$Na[Pd(3a)Cl_2]$	14,00	DMSO	**[26]**
$Na[Pd(3b)Cl_2]$	16,00	DMSO	**[26]**
$Na[Pd(3c)Cl_2]$	16,00	DMSO	**[26]**
$Na[Pd(3d)Cl_2]$	16,00	DMSO	**[26]**
$Na[Pd(3e)Cl_2]$	15,00	DMSO	**[26]**
$[Pd(nta)_2Cl_2]$	1,60-6,40	DMSO	**[27]**
$[Pd(pia)_2Cl_2]$	1,60-6,40	DMSO	**[27]**
$[Pd(ina)_2]$	1,60-6,40	DMSO	**[27]**
$[Pd(nta)(caf)Cl_2]$	1,60-6,40	DMSO	**[27]**
$[Pd(pia)(caf)Cl]$	1,60-6,40	DMSO	**[27]**
$[Pd(ina)(caf)Cl]$	1,60-6,40	DMSO	**[27]**
$[PdCl(L_1)(PPh_3)]H_2O$	2,62	DMSO	**[28]**
$[PdCl(L_2)(PPh_3)]$	2,23	DMSO	**[28]**
$[PdCl(L_3)(PPh_3)]$	4,50	DMSO	**[28]**
$[PdCl(L_4)(PPh_3)]$	2,55	DMSO	**[28]**
$[Pd_2(\kappa^2\text{-}ptt)_4]$	3,74	DMSO	**[29]**
$[Pd(\kappa^2\text{-}ptt)_2(\kappa^2\text{-}Phen)]$	3,99	DMSO	**[29]**
$[Pd(\kappa^2\text{-}ptt)_2(\kappa^2\text{-}Bipy)]$	3,59	DMSO	**[29]**
$[Pd(\kappa^2\text{-}ptt)_2(\kappa^2\text{-}en)]$	7,87	DMSO	**[29]**

[Pd(Hbta)$_2$Cl$_2$]	22,00	DMSO	**[30]**
[Pd(bta)(*μ*-Cl]$_2$	22,00	DMSO	**[30]**
[PdCl(bta)$_($PPh$_3$)] $_2$DMSO	17,00	DMSO	**[30]**
[Pd(PyDT)(ppy)]	14,80	DMSO	**[31]**
[Pd(PyDT)(N-BAZ)]	2,00	DMSO	**[31]**
Na[Pd(PyDT)(N-Bit)$_2$]	39,20	DMSO	**[31]**
[Pd(PyDT) $_2$(dppe)]	2,50	DMSO	**[31]**
[Pd(PyDT) $_2$(dppp)]	12,80	DMSO	**[31]**
[Pd(PyDT) $_2$(dppb)]	8,56	DMSO	**[31]**
[Pd(PyDT) $_2$(dppf)]	5,10	DMSO	**[31]**
trans-[Pd(PyDT)(N-sac)(PPh$_3$)$_2$]	4,30	DMSO	**[31]**
[Pd(L)$_2$]	3-20	DMF	**[32]**
[Pd(***κ***^{1}-PipDT)$_2$(Bipy)]	8,50	DMF	**[33]**
[Pd(***κ***^{1}-PipDT)$_2$(Phen)]	6,00	DMF	**[33]**
trans-[Pd(***κ***^{1}-PipDT)(***κ***^{1}-N-bit)(PPh$_3$)$_2$]	4,30	DMF	**[33]**
trans-[Pd(***κ***^{1}-PipDT)(***κ***^{1}-N-sac)(PPh$_3$)$_2$]	4,30	DMF	**[33]**
[Pd(L^1)(L^2)]	25,30	DMF	**[34]**
[Pd(OAC)$_2$(HL)]H$_2$O	5,12	DMSO	**[35]**
[Pd(OAC)(HNP)]H$_2$O	5,52	DMSO	**[36]**
[Pd(HL)(dppe)]Cl$_2$	136,40	DMSO	**[37]**
[Pd(L)(dppe)]Cl	53,60	DMSO	**[37]**
[Pd(L)$_2$(dppe)]	18,40	DMSO	**[37]**
[Pd(OAc)$_2$(PTP)] 3H$_2$O	8,78	DMSO	**[38]**
[Pd(FMBT)(OAc)]H$_2$O	30,25	DMSO	**[39]**
[Pd(FMBT)$_2$]	33,79	DMSO	**[39]**
[Pd(PMI)(8HQI)] Cl	72,00	DMSO	**[40]**
[Pd(L^1)(L^2)] 2Cl	130,00	DMSO	**[41]**
[Pd(bpozs)$_2$(dppf)]Cl$_2$	72,00	DMSO	**[42]**
$C_{14}H_{21}N_7OCl_2Pd$	122,90	DMSO	**[43]**
[Pd(L^1)Cl$_2$]	13,66	DMSO	**[44]**
[Pd(L^2)Cl$_2$]	4,23	DMSO	**[44]**
[Pd(L^3)Cl$_2$]	3,58	DMSO	**[44]**
[Pd(L^4)Cl$_2$]	1,23	DMSO	**[44]**
[PdCl$_2$(HL)$_2$]	8,10	DMSO	**[45]**
[PdCl$_2$ (HmtzS)$_2$]	5,70	DMSO	**[45]**
[Pd(mtzS)$_2$]	3,80	DMSO	**[45]**
[Pd(mtzS)$_2$(dppe)]	4,30	DMSO	**[45]**
[Pd(mtzS)$_2$(dppp)]	1,40	DMSO	**[45]**
[Pd(mtzS)$_2$(dppb)]	1,00	DMSO	**[45]**
[Pd(mtzS)$_2$(dppf)]	10,40	DMSO	**[45]**

$[Pd(mtzS)_2(Ph_3P)_2]$	1,00	DMSO	**[45]**
$[Pd(mtzS)_2(Ph_3PS)_2]$	4,30	DMSO	**[45]**
$[Pd(HL^1)Cl_2]$	14,68	DMSO	**[46]**
$[Pd(HL^2)Cl_2]$	15,11	DMSO	**[46]**
$[Pd(HL^3)Cl_2]$	14,68	DMSO	**[46]**
$[Pd(\kappa^2\text{-mbm})_2]$	7,20	DMSO	**[47]**
$[Pd(\kappa^1\text{-mbm})_2](PPh_3)_2]$	3,20	DMSO	**[47]**
$[Pd(\kappa^1\text{-mbm})_2](dppf]$	2,40	DMSO	**[47]**
$[Pd(S_2)_2]^{2+}$	77,00	DMF	**[48]**
$[Pd(S_3)_2]^{2+}$	77,00	DMF	**[48]**
$[Pd(S_4)_2]^{2+}$	71,00	DMF	**[48]**
$[Pd(S_5)_2]^{2+}$	75,00	DMF	**[48]**
$[Pd(S_6)_2]^{2+}$	80,00	DMF	**[48]**
$[Pd(S_9)_2]^{2+}$	77,00	DMF	**[48]**
$[Pd(S_{10})_2]^{2+}$	80,00	DMF	**[48]**
$[Pd(S_{11})_2]^{2+}$	84,00	DMF	**[48]**
$[Pd(S_{12})_2]^{2+}$	75,00	DMF	**[48]**
$[Pd(S_{13})_2]^{2+}$	79,00	DMF	**[48]**
$[C_{79}H_{54}Cl_4N_{12}S_4Pd_4](PF_6)_4\ 9H_2O$	296,90	DMF	**[49]**
$[Pd(PA\text{-}dtc)_2]$	17,80	DMSO	**[50]**
[PdTThCor]	108,50	DMSO	**[51]**
$[PdCl_2(HDmazo)]$	11,32	DMSO	**[52]**
$[Pd(Dmazo)_2]$	10,07	DMSO	**[52]**
$[Pd(DMB)_2]$	13,00	DMSO	**[53]**
$[Pd(L^1)Cl_2]\ 2H_2O$	3,70	DMSO	**[54]**
$[Pd(L^2)Cl_2]\ 2H_2O$	4,60	DMSO	**[54]**
$[Pd(L^3)Cl_2]\ 2H_2O$	4,90	DMSO	**[54]**
$[Pd(PCA\text{-}dtc)_2(dppe)]$	12,10	DMSO	**[55]**
$[Pd(PCA\text{-}dtc)_2(dppp)]$	3,80	DMSO	**[55]**
$[Pd(PCA\text{-}dtc)_2(dppf)]$	10,10	DMSO	**[55]**
$[Pd(HL)]_2$	5,85	DMSO	**[56]**
$[L^1Pd(H_2O)]Cl\ H_2O$	130,00	DMSO	**[57]**
$[L^2PdCl(H_2O)]\ H_2O$	15,60	DMSO	**[57]**
$[Pd(OAc)_2(BIL)]\ H_2O$	13,80	DMF	**[58]**
$[Pd(L3)Cl]\ H_2O$	11,39	DMF	**[59]**
$[Pd(L^1)(H_2O)_2]Cl_2\ 4H_2O$	111,00	DMF	**[60]**
$[Pd(L^1)(H_2O)_2Cl]Cl\ 3H_2O$	50,00	DMF	**[60]**
$C_{25}H_{28}Cl_2N_4O_5PdS$	2,00	DMF	**[61]**
$[Pd(L)(phen)]\ 2H_2O$	2,01	DMF	**[62]**
$C_{24}H_{23}N_7O_4Pd$	118,87	DMSO	**[63]**

$[Pd(Dmby)_2(dppm)]_2$	10,00	DMSO	**[64]**
$[Pd(Dmby)_2(dppe)]$	11,00	DMSO	**[64]**
$[Pd(Dmby)_2(dppp)]$	6,80	DMSO	**[64]**
$[Pd(Dmby)_2(dppb)]$	7,00	DMSO	**[64]**
$[Pd(Dmby)_2(dppf)]$	8,00	DMSO	**[64]**
$[Pd(Dmby)_2(PPh_3)_2]$	2,40	DMSO	**[64]**
$[Pd(BHDH)_2]$	2,25	DMF	**[65]**
$[Pd(dmtzsH)_2(dppe)]$	0,50	DMSO	**[66]**
$[Pd(H_2L)Cl]$	13,00	DMSO	**[67]**
$[PdCl_2(OPP)_2]$	2,00	DMSO	**[68]**
$[Pd(DMeCPAI)_2Cl]H_2O$	17,37	DMF	**[69]**
$C_{29}H_{27}N_7O_4Pd$	50,00	DMSO	**[70]**
$[LPdCl_2]$ $2{,}5H_2O$	13,30	DMF	**[71]**
$PdLC_2$	31,00	DMSO	**[72]**
$PdLC_2$	44,00	DMF	**[72]**

Tabela 2- Análises de condutividade molar dos complexos de paládio(II) do ano de 2018 a 2024.

	Solventes		
Ano	**DMSO**	**DMF**	**Total**
2018	4	5	9
2019	5	3	8
2020	4	0	4
2021	10	3	13
2022	4	2	6
2023	8	5	13
2024	7	4	11*
Total	42	22	64*

Tabela 3- Análise de número de artigos pesquisados por ano nesta busca bibliográfica.

Fonte: Autores. *[72]

	Solventes		
Ano	**DMSO**	**DMF**	**Total**
2018	7	8	15
2019	28	3	31
2020	19	0	19
2021	20	6	26
2022	18	11	29
2023	14	6	20
2024	12	4	16
Total	118	38	156*

Tabela 4- Análise do número de complexos pesquisados por ano.

Fonte: Autores. *[72]

Ano	Tipos de complexos		
	Complexos neutros	Complexos eletrolíticos	Total
2018	10	5	**15**
2019	13	18	**31**
2020	19	0	**19**
2021	19	7	**26**
2022	18	11	**29**
2023	16	4	**20**
2024	13	2	**15**
Total	**108**	**47**	**155**

Tabela 5- Análise de quantidade de complexos neutros e complexos eletrolíticos pesquisados por ano.

Fonte: Autores.

Ano	Tipos de complexos			
	Complexos mononucleares	Complexos binucleares ou polinucleares	Polímeros	Total
2018	14	1	0	**15**
2019	30	1	0	**31**
2020	16	2	1	**19**
2021	26	0	0	**26**
2022	28	1	0	**29**
2023	18	2	0	**20**
2024	13	2	0	**15**
Total	145	9	1	**155**

Tabela 6- Quantidade de tipos complexos como (i) mononucleares (ii) complexos binucleares ou polinucleares e (iii) polímeros pesquisados por ano.

Fonte: Autores.

Ano	Tipos de complexos	
	Complexos neutros	Complexos eletrolíticos
	Concentração molar (mín-máx)	Concentração molar (mín-máx)
2018	0,06 até 27,00	------------------------------------
2019	0,50 até 16,00	66,00 até 140,00
2020	1,60 até 22,00	------------------------------------
2021	2,00 até 33,79	39,20 até 136,40
2022	1,00 até 15,11	------------------------------------
2023	3,70 até 17,80	108,00 até 130,00
2024	0,50 até 31,00	50,00 até 118,87
Total	0,06 até 33,79	39,20 até 140,00

Tabela 7- Análise da faixa de condutividade molar dos complexos neutros em DMSO.

Fonte: Autores.

Ano	Tipos de complexos	
	Complexos neutros	Complexos eletrolíticos
	Concentração molar (mín-máx)	Concentração molar (mín-máx)
2018	15,00 até 24,00	74,00 até 115,00
2019	6,50 até 23,51	------------------------------------
2020	------------------------------------	------------------------------------
2021	3,00 até 25,30	------------------------------------
2022	------------------------------------	71,00 até 296,90
2023	2,00 até 13,80	50,00 até 111,00
2024	2,25 até 44,00	------------------------------------
Total	2,00 até 44,00	50,00 até 296,90

Tabela 8- Análise da faixa de condutividade molar dos complexos neutros em DMF.

Fonte: Autores.

4 I CONCLUSÃO

Em conclusão, a análise dos 63 artigos revisados, totalizando 155 complexos de paládio(II), demonstrou a importância da condutividade molar como uma ferramenta essencial para a caracterização desses compostos. A comparação entre os complexos com diferentes estequiometrias permitiu a distinção clara entre aqueles que se comportam como neutros e eletrolíticos, fornecendo insights valiosos sobre suas propriedades eletroquímicas. Os dados de condutividade molar obtidos em solventes DMSO e DMF foram consistentes com os valores relatados na literatura, corroborando a eficácia desses solventes na análise de complexos de paládio(II). Este estudo contribui para o aprofundamento da compreensão sobre o comportamento de complexos de paládio(II), ressaltando a condutividade molar como um parâmetro fundamental na determinação de suas características estruturais e eletroquímicas.

AGRADECIMENTOS

Aos autores agradecem e a Universidade Federal da Grande Dourados (UFGD) pelo apoio e suporte durante a pesquisa, pelo programa de Iniciação Cientifica PIVIC-FC (CNPq/UFGD), Grupo de Metalo-Supramoléculas e Compostos de Coordenação (GMSCC) e pelas sugestões. Agradecemos as Universidades parceiras do trabalho UTFPR-Londrina-PR e UFMS-Campo Grande-MS.

REFERÊNCIAS

[**1**] FARIAS, R. F de. **Química de coordenação**: fundamentos e atualidades. 5. ed. Campinas, SP: Ed. Átomo, 2009.

[**2**] ATKINS, P.; LORETTA, J**. Princípios de química:** questionando a vida moderna e o meio ambiente. 3. ed. Porto Alegre, RS: Bookman, 2006.

[**3**] SHRIVER, D. F; ATKINS, P. **Química inorgânica**. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2008.

[**4**] TOMA H, E. Alfred Werner e Heinrich Rheinboldt: genealogia e legado científico. **Química Nova**, v. 37, n. 3, p. 574-581, 2014.

[**5**] TOMA H, E.; FERREIRA, A. M da C.; MASSABNI, A. M. G.; MASSABNI, A. C. **Nomenclatura básica de química inorgânica. Adaptação simplificada, atualizada e comentada das regras da IUPAC para a língua portuguesa (Brasil)**. São Paulo: Blucher, 2014.

[**6**] WERNER, H. Alfred Werner: a forerunner to modern inorganic chemistry, **Angewandte Chemie International Edition**, v. 52, p. 6146-6153, 2013.

[**7**] VELHO**,** R. G. **Medidas de condutividade na caracterização de complexos inorgânicos: um levantamento bibliográfico**. Dissertação (mestrado em química inorgânica) - Centro de Ciências Exatas e Tecnologia, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos - SP, 2006, 170 p.

[**8**] GEARY, W. J. The use of conductivity measurements in organic solvents for the characterisation of coordination compounds. **Coordination Chemistry Reviews**, v.7, p. 81-122, 1971.

[**9**] SANTOS, A. R DOS.; FIRME, C. L.; BARROS, J. C. A internet como fonte de informação bibliográfica em química. **Química Nova**, v. 31, n. 2, p. 251-451, 2008.

[**10**] BOUCHOUCHA, A.; ZAATER, S.; BOUACIDA, S.; MERAZIG, H.; DJABBAR, S. Synthesis and characterization of new complexes of nickel(II), palladium(II) and platinum(II) with derived sulfonamide ligand: structure, DFT study, antibacterial and cytotoxicity activities. **Journal of Molecular Structure**, v. 1161, p. 345-355, 2018.

[**11**] ALYAR, S.; SEN, C.; ALYAR, H.; ADEM, S.; KALKANCI, A.; OZDEMIR, U. O. Synthesis, characterization, antimicrobial activity, carbonic anhydrase enzyme inhibitor effects, and computational studies on new Schiff bases of Sulfa drugs and their Pd(II), Cu(II) complexes. **Journal of Molecular Structure**, v. 1171, p. 214-222, 2018.

[**12**] ALY S. A. Physico-chemical study of new ruthenium(III), Pd(II) and Co(II) complexes, DNA binding of Pd(II) complex and biological applications**. Journal of Radiation Research and Applied Sciences**, v. 11, p. 163-170, 2018.

[**13**] ABDEL-RAHMAN, L. H.; ABU-DIEF, A. M.; SHEHATA, M. R.; ATLAM, F. M.; ABDEL-MAWGOUD, A. A. H.; Some new Ag(I), VO(II) and Pd(II) chelates incorporating tridentate imine ligand: design, synthesis, structure elucidation, density functional theory calculations for DNA interaction, antimicrobial and anticancer activities and molecular docking studies. **Applied Organometallic Chemistry**. v. 33, p. e4699, 2018.

[**14**] EKENNI, A. C.; OSOWOLE, A. A.; ONWUDIWE, D. C.; BABAHAN, I.; IBEJI, C. U.; OKAFOR, S. N.; UJAM, O. T.; Synthesis, characterization, molecular docking, biological activity and density functional theory studies of novel 1,4- naphthoquinone derivatives and Pd(II), Ni(II) and Co(II) complexes. **Applied Organometallic Chemistry**. v. 32, p. e4310, 2018.

[**15**] TERBOUCHE, A.; AIT-RAMDANE-TERBOUCHE, C.; BENDJILALI, Z.; BERRIAH, H.; LAKHDARI, H.; LERARI, D.; BACHARI, K.; MEZAOUI, D.; BENSIRADJ, N. E. H.; GUEGAN, J-P.; HAUCHARD, D. Synthesis, spectral characterization, molecular modeling, antibacterial and antioxidant activities and stability study of binuclear Pd(II) and Ru(III) complexes with novel bis-[1-(2-[(2-hydroxynaphthalen-1-yl) methylidene]amino}ethyl)-1-ethyl-3-phenylthiourea] ligand: Application to detection of cholesterol. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 205, p. 146-159, 2018.

[**16**] GABER, M.; AWAD, M. K.; ATLAM, F. M. Pd (II) complexes of bidentate chalcone ligands: synthesis, spectral, thermal, antitumor, antioxidant, antimicrobial, DFT and SAR studies. **Journal of Molecular Structure**, v. 1160, p. 348-359, 2018.

[**17**] ELBORAEY, H. A.; EL-GAMMAL, O. A.; Macrocyclic Cu(II) and Pd(II) complexes with new 16-membered tetradentate [N4] ligand: synthesis, characterization, 3D molecular modeling and *in vitro* anticancer and antimicrobial activities. **Journal of Inclusion Phenomena and Macrocyclic Chemistry**, v. 90, p.123-134, 2018.

[**18**] GABER, M.; EL-GHAMRYA, H. A.; MANSOUR, M. A. Pd(II) and Pt(II) chalcone complexes. Synthesis, spectral characterization, molecular modeling, biomolecular docking, antimicrobial and antitumor activities, **Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry**, v. 354, p.163-174, 2018.

[**19**] ABU-DIEF, A. M.; ABDEL-RAHMAN, L.; SHEHATA, M.; ABDEL-MAWGOUD, A. Novel azomethine Pd(II) and VO(II) based metallo-pharmaceuticals as anticancer, antimicrobial, and antioxidant agents: design, structural inspection, DFT investigation, and DNA interaction. **Journal of Physical Organic Chemistry**, v.*32*, p.1-18, 2019.

[**20**] EL-GHAMRY, H. A.; GABER M.; FARGHALY, T.A. Synthesis, structural characterization, molecular modeling and DNA binding ability of Co^{II}, Ni^{II}, Cu^{II}, Zn^{II}, Pd^{II} and Cd^{II} complexes of benzocycloheptenone thiosemicarbazone ligand. **Mini-Reviews in Medicinal Chemistry**, v. 19, p. 1068-1079, 2019.

[**21**] KAREEM, I. K.; MOHSEIN, H. F.; MAJEED, N. S. Preparation and spectral characterization of some novel heterocyclic ligands derivative from 2,4,6-tri oxo tetra hydro pyrimidine and their complexes with Pd(II). **Journal of Physics. Conference Series**, p.1294, 2019.

[**22**] MOHAMED, R. G.; ELANTABLI, F. M.; AZIZ, A. A. A. A.; MOUSTAFA, H.; EL-MEDANI, S. M. Synthesis, characterization, NLO properties, antimicrobial, CT-DNA binding and DFT modeling of Ni(II), Pd(II), Pt(II), Mo(IV) and Ru(I) complexes with NOS Schiff base. **Journal of Molecular Structure**, v. 1176, p. 501e 514, 2019.

[**23**] AL-JIBORI, S. A.; ULGHAFOOR, M. A.; KARADAĞ, A.; AYDIN, A.; AKBAŞ, H.; RUIZ, S. G. Synthesis, characterization and anti-tumor activity of Pd(II) complexes with 4,5-benzo-3H-1,2-dithiole-3-thione. **Transition Metal Chemistry**, v. 44, p. 575-583, 2019.

[**24**] HAMEED, A. A.; ALHEETY, M. A.; MAHMOOD, A.R.; AL-JIBORIA, S. A.; KARADAG, A. H_2 storage abilities of some novel Pd(II) complexes containing 2H[1,4] benzothiazin-3(4H)-one, **Inorganic Chemistry Communications**, v. 106, p. 11-17, 2019.

[**25**] ABU-DIEF, A. M.; EL-SAGHER, H. M.; SHEHATA, M. R. Fabrication, spectroscopic characterization, calf thymus DNA binding investigation, antioxidant and anticancer activities of some antibiotic azomethine Cu(II), Pd(II), Zn(II) and Cr(III) complexes, **Applicatied Organometallic Chemistry**, v. 33, p. e4943, 2019.

[**26**] THAKOR, K. P.; LUNAGARIYA, M. V.; BHATT, B. S.; PATEL, M. N. Fluorescence and absorption titrations of bio-relevant imidazole based organometallic Pd(II) complexes with DNA: synthesis, characterization, DNA interaction, antimicrobial, cytotoxic and molecular docking studies. **Journal of Inorganic and Organometallic Polymers and Materials**, v. 29, p.2262-2273, 2019.

[**27**] AL-SAIF F. A.; AL-HUMAIDI, J. Y.; BINJAWHAR, D. N.; MOAMEN S. REFAT, M. S. Six new palladium(II) mixed ligand complexes of 2-, 3-, 4- monosubstituted derivative of pyridine ring with caffeine moiety: synthesis, spectroscopic, morphological structures, thermal, antimicrobial and anticancer properties**. Journal of Molecular Structure**, v.1218, n. 15, p. 128547, 2020.

[**28**] MOURA, T. R de.; ZANETTI, R D.; SILVA, D. E. S.; FARIAS, R. L. de.; MAURO, A. E.; PEREIRA, J. C. M.; SOUZA, A. A de. SIQUEIRA, F. da S.; JUDICE, W. A. de S.; LIMA, M. A.; ROCHA, F. V.; DEFLON, V. M.; NETTO. A. V. G. Palladium(II) complexes bearing 1-iminothiolate-3,5-dimethylpyrazoles: synthesis, cytotoxicity, DNA binding and enzymatic inhibition studies. **New Journal of Chemistry**, v. 44, p. 19891-1990, 2020.

[**29**] AL-JANABIA , A. S. M.; ALHEETY, M. A.; AL-SAMRAI O. A. Y.; SHAABAND, S.; KIBARF , B.; CACAN E. Anti-cancer and anti-fungal evaluation of novel palladium(II) 1-phenyl-1Htetrazol-5-thiol complexes**. Inorganic Chemistry Communications,** v. 121, p. 108193, 2020.

[**30**] AL-JIBORI, S. A.; AL-DOORI, L. A.; AL-JANABI, A. S. M.; ALHEETY, M. A.; AKBAS, H.; KARADAG, A. Novel Hg(II) and Pd(II) benzotriazole (Hbta) complexes: synthesis, characterization, X-ray crystal structure of $[Pd(PPh_3)(\mu\text{-bta})Cl]_2$. DMSO and thermodynamic study of their H_2 storage. **Journal of Molecular Structure**, v. 1207, p. 127832, 2020.

[**31**] AL-JIBORI, S. A.; AL-JANABI, A. S. M.; AL-SAHAN, S. W. M.; WAGNER C. Pd (II)- pyrrolidine dithiocarbamate complexes: synthesis, spectroscopic studies and molecular structure of [Pd(PyDT)(ppy)]. **Journal of Molecular Structure**, v.1227, p. 129524, 2021.

[**32**] LUPAȘCU, G.; PAHONȚU, E.; SHOVA, S.; BĂRBUCEANU, BADEA, M., PARASCHIVESCU, C.; DINU-PÎRVU, C. Co(II), Cu(II), Mn(II), Ni(II), Pd(II), and Pt(II) complexes of bidentate schiff base ligand: synthesis, crystal structure, and acute toxicity evaluation. **Applied Organometallic Chemistry***,* v. 35, n. 4, p. e6149, 2021.

[**33**] AL-JANABI, A. S. M.; KADHIM, M. M.; AL-NASSIRY, A. I. A.; YOUSEF, T. A. Antimicrobial, computational, and molecular docking studies of Zn(II) and Pd(II) complexes derived from piperidine dithiocarbamate. **Applied Organometallic Chemistry***,* v. 35, n. 2, p. e6108, 2021.

[**34**] ALTUN, O.; KOCER, M. Spectral, kinetic and thermodynamic studies of Pd(II) with Schiff base derived from L-asparagine and furfuraldehyde in the presence of 8-hydroxyquinoline. **Journal of Molecular Structure***,* v.1224, p.129242, 2021.

[**35**] ABU-DIEF, A. M., EL-METWALY, N. M., ALZAHRANI, S. O., ALKHATIB, F., ABUALNAJA, M. M., EL-DABEA, T., EL-REMAILY, M. A. E. A. A. A. Synthesis and characterization of Fe(III), Pd(II) and Cu(II)-thiazole complexes; DFT, pharmacophore modeling, *in-vitro* assay and DNA binding studies. **Journal of Molecular Liquids**, v. 326, p. 115277. 2021.

[**36**] ABU-DIEF, A. M.; EL-KHATIB, R. M.; ALJOHANI, F. S.; ALZAHRANI, S. O.; MAHRAN, A.; KHALIFA, M. E.; EL-METWALY, N. M. Synthesis and intensive characterization for novel Zn(II), Pd(II), Cr(III) and VO(II)-Schiff base complexes; DNA-interaction, DFT, drug-likeness and molecular docking studies. **Journal of Molecular Structure***,* v. 1242, p. 130693, 2021.

[**37**] IRZOQI, A. A.; SALMAN, F. A.; ALASADI, Y.; ALHEETY, M. A. Synthesis and structural characterization of palladium(II) mixed-ligand complexes of n(benzothiazol-2-yl)benzamide and 1,2-bis(diphenylphosphino) ethane**. Inorganic Chemistry**, v. 60, p.18854-18858, 2021.

[**38**] ALZAHRANI, S. O.; ABU-DIEF, A. M.; ALKHAMIS, K.; ALKHATIB, F.; EL-DABEA, T.; EL-REMAILY, M. A. E. A. A. A.; EL-METWALY, N. M. Synthesis and structural elucidation for new pyrano thiazole complexes: Biological screening and effects on DNA through *in-vitro* and in-silico approaches. **Journal of Molecular Liquids**, v. 332, p. 115844, 2021.

[**39**] SINGH, K.; SIWACH, P. Synthesis, spectroscopic, theoretical and biological evaluation of novel schiff base complexes of divalent transition metals**. Applied Organometallic Chemistry,** v. 36, n. 3, e 6553, 2021.

[**40**] KADHIUM, A. J.; ABDULMAHDI, B. S.; Ali, F. J. Preparation, determination and study toxicity effects of new mixed ligands complexes derivative from 8- hydroxy quinoline with Pd(II). **Egyptian Journal Chemistry**. v. 64, n. 9, p. 5283 - 5288, 2021.

[**41**] TOFIQ, D. I.; HASSAN, H. Q.; ABDALKARIM, K. A. Preparation of a novel mixed-ligand divalent metal complexes from solvent free synthesized schiff base derived from 2,6-diaminopyridine with cinnamaldehyde and 2,20 -bipyridine: characterization and antibacterial activities. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 14, p. 103429, 2021.

[**42**] SALEH, R. A.; MOHAMMAD, H. A. Synthesis and characterization of palladium(II) and platinum(II) mixed ligand complexes of the type $[M(bpozs)_2(dppf)]Cl_2$, bpozs =2-(benzylthio)-5-phenyl-1,3,4-oxadiazole.**Zanco Journal of Pure and Applied Sciences**, v. 33, n. 1, p. 77-90, 2021.

[**43**] FADL, A. M.; ABDOU, M. I.; ZORDOK, W. A;. SADEEK, S. A. Intrinsic anti-corrosion, self-healing and mechanical resistance behaviors of epoxy composite coating intercalated with novel mixed Ni(II), Pd(II), and Cd(II) complex cross-linking accelerators for steel petroleum tanks. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 15, p. 2242-2275, 2021.

[**44**] KERFLANI, A.; SI LARBI, K.; RABAHI, A.; BOUCHOUCHA, A.; ZAATER, S.; TERRACHET-BOUAZIZ, S. Novel palladium(II) complexes with iminocoumarin ligands: synthesis, characterisation, electrochemical behaviour, DFT calculations and biological activities, ADMET study and molecular docking. **Inorganica Chimica Acta***,* v. 529, p.120659. 2022.

[**45**] AL-MOUQDADY, O. D. H.; AL-JANABI, A. S.; HATSHAN, M. R.; AL-JIBORI, S. A.; FIAHAN, A. S.; WAGNER, C. Synthesis, characterization, anti-bacterial and anticancer activities of palladium(II) mixed ligand complexes of 2-mercapto-5-methyl1,3,4-thiadiazole (HmtzS) and phosphines. Crystal structure of $[Pd(mtzS)_2(dppf)].H_2O.EtOH$. **Journal of Molecular Structure**, v. 1259, p. 132748, 2022.

[**46**] DECHOUK, L F.; BOUCHOUCHA, A.; ABDI, Y.; LARBI, K. S.; BOUZAHEUR, A.; TERRACHET-BOUAZIZ, S. Coordination of new palladium (II) complexes with derived furopyran-3,4-dione ligands: synthesis, characterization, redox behaviour, DFT, antimicrobial activity, molecular docking and ADMET studies. **Journal of Molecular Structure**, v. 1259, p. 132748, 2022.

[**47**] AL-JIBORI, S. A.; AL-JIBORI, G. H. H.; SALEH, S. S.; AL-JANABI, A. S. M.; LAGUNA, M.; WAGNER, C. Palladium(II) 2-mercaptobenzamide (o-$SC_6H_4CONH_2$) complexes: crystal structure of *trans*-$[Pd(o-SC_6H_4CONH_2)_2(PPh_3)_2]$. **Polyhedron**, v. 216, p. 115721, 2022.

[**48**] ALFAIFI, M.; ELBEHAIRI, S.; ELSHAARAWY, R.; ZEIN, M. Novel thiazolium ionic liquids-tagged bicyclo-palladium(II) Schiff base complexes; synthesis, characterization and *in vitro* cytotoxicity toward ovarian cancer. **Journal of Molecular Structure***,* v. 1249, p. 131594, 2022.

[**49**] TABATABAI. A. S. D.; DEHGHANIAN. E.; MANSOURI-TORSHIZI, H. Probing the interaction of new and biologically active Pd(II) complex with DNA/BSA via joint experimental and computational studies along with thermodynamic, NLO, FMO and NBO analysis. **Biometals**, v. 35, p. 245-266, 2022.

[**50**] ABDULLAH, T. B.; JIRJES, H. M.; FAIHAN, A. S.; AL-JANABI, A. S. M. Spectroscopic, computational, anti-bacterial studies of bivalent metal complexes of N-picolyl-amine dithiocarbamate. **Journal of Molecular Structure**, v.1276, p. 134730, 2023.

[**51**] RODRIGUES, B. M.; VICTÓRIA, H. F.V; LEITE, G.; KRAMBROCK, K.; CHAVES, O. A.; OLIVEIRA, D. F. D.; GARCIA, R. D. Q.; BONI, L. D.; COSTA, L. A. S.; IGLESIAS, B. A. Photophysical, photobiological, and biomolecule-binding properties of new tri-cationic *meso*-tri(2-thienyl)corroles with Pt(II) and Pd(II) polypyridyl derivatives. **Journal of Inorganic Biochemistry**, v. 242, p. 112149, 2023.

[**52**] AL-JANABI, A. S. M.; OUDAH, K. H.; ALDOSSARI, S.A.; KHALAF, M. A.; SALEH, A. M.; HATSHAN, M. R.; ALTHEEB, N. B.; ADIL, S. F. Spectroscopic, anti-bacterial, anti-cancer and molecular docking of Pd(II) and Pt(II) complexes with (E)-4-((dimethylamino)methyl)-2-((4,5-dimethylthiazol-2-yl)diazenyl) phenol ligand. **Journal of Saudi Chemical Society**, v. 27, p. 101619, 2023.

[**53**] SHIHAB, I. A.; MUHAMMED, M. Y.; ALHEETY, M. A.; NUAMAN, H. A.; KARADAG, A. Rapid ultrasound-assisted synthesis, characterization, DFT, molecular docking, and anticancer activity of palladium and zinc complexes with 2,6 dimethoxybenzoic acid: a comprehensive study. **Journal of Molecular Structure**, v.1276, p. 134730, 2023.

[**54**] BOUROUAI, M. A.; LARBI, K. S.; BOUCHOUCHA, A.; TERRACHET-BOUAZIZ, S.; DJEBBAR. S. New Ni(II) and Pd(II) complexes bearing derived sulf a drug ligands: synthesis, characterization, DFT calculations, and in silico and *in vitro* biological activity studies. **Biometals**, v. 36, p. 153-188, 2023.

[**55**] ABDULLAH, T. B.; BEHJATMANESH-ARDAKANI, R.; FAIHAN, A. S.; JIRJES, H. M.; ABOU-KRISHA, M. M.; YOUSEF, T.A.; KENAWY, S.H.; Al-JANABI, A. S. M. Cd(II) and Pd(II) mixed ligand complexes of dithiocarbamate and tertiary phosphine ligands spectroscopic, anti-microbial, and computational studies, **Molecules,** v. 28, p. 2305, 2023.

[**56**] ALI, M. S.; EL-SAIED, F. A.; SHAKDOFA, M. M. E.; KARNIK, S.; JARAGH-ALHADAD, L. A. Synthesis and characterization of thiosemicarbazone metal complexes: crystal structure, and antiproliferation activity against breast (MCF7) and lung (A549) cancers. **Journal of Molecular Structure**, v.1274, p. 134485, 2023.

[**57**] AKDENIZ, A.; TURAN, N. Synthesis, characterization, suzuki-miyaura and mizoroki-heck cross-coupling reactions of schiff base-Pd(II) complexes. **Journal of Molecular Structure**, v.1287, p. 135724, 2023.

[**58**] EL-REMAILY, M. A. E A. A. A.; ELHADY, O.; ABDOU, A.; ALHASHMIALAMEER, D.; ESKANDER, T. N. A.; ABU-DIEF, A. M. Development of new 2-(benzothiazol-2-ylimino)-2,3-dihydro-1H-imidazol-4-ol complexes as a robust catalysts for synthesis of thiazole 6-carbonitrile derivatives supported by DFT studies. **Journal of Molecular Structure**, v.1292, p. 136188, 2023.

[**59**] JAWAD, W. A.; BALAKIT, A. A.; AL-JIBOURI, M. N. A.; SERT, Y.; OBIES, M. Design, synthesis, characterization, antioxidant, antiproliferative activity and molecular docking studies of new transition metal complexes of 1,2,4-triazole as combretastatin A-4 analogues. **Journal of Molecular Structure**, v.1292, p. 136188, 2023.

[**60**] SAYED, F. N.; MOHAMED, G. G.; DEGHADI, R. G. Structural characterization and molecular docking studies of biologically active platinum(II) and palladium(II) complexes of ferrocenyl Schiff bases. **Journal of Molecular Structure**, v.1278, p. 134904, 2023.

[**61**] HASSAN, S. S.; HANNA. D. H.; MEDANY, S.S. The double-edged sword of the amoxicillin antibiotic against prostate cancer in nano palladium form and its

electrochemical detection of dopamine. **Applied Organometallic Chemistry**, v. 37, p. e7026, 2023.

[**62**] SOGUKOMEROGULLARI, H G.; BAŞARAN, E.; SARIOĞLU, A. O.; KOSE, A.; AKKOC, S. Synthesis, characterization, photoluminescence properties and antiproliferative activity of new Pd(II), Ni(II) and Cu(II) mixed complexes bearing schiff base ligand and 1,10-phenanthroline. **Chemistry Select**, v. 8, p. e202301014, 2023.

[63] ABU-DIEF, A. M.; EL-DABEA, T.; EL-KHATIB, R. M.; ABDOU, A.; IBRAHIM OMAR BARNAWID, I. O.; ALSHEHRIB, H. A. H.; AL-GHAMDI, K.; EL-REMAILY. M. A. E. A. A. A. Fabrication, physicochemical characterization and theoretical studies of some new mixed ligands complexes based on N-(1H-benzimidazol-2-yl)-guanidine and 1, 10-phenanthroline: DNA interaction, biological applications and molecular docking approach. **Journal of Molecular Structure**, v.1310, p. 138328, 2024.

[**64**] AL-JIBORI, L. H. K.; AL-JANABI, A. S. M. Synthesis, spectroscopic analysis, and anti-bacterial studies of Pd(II) complexes of phosphine and hydrazone derivatives. **Journal of The Turkish Chemical Society Section A: Chemistry**, v.11, n. 1, p. 245-252, 2024.

[**65**] PALLAI, D. B.; BADEKAR, R. R.; MOMIN, K. I.; BONDGE, A. S.; NAGARGOJE, G. R.; KADAM, P. D.; PANCHGALLE, S. P.; MORE, V. S.. Synthesis, spectral and biological studies of Co(II), Fe(II), Ni(II), Cu(II), Pd(II), Mn(II), Hg(II), Cd(II), and Zn(II) complexes derived from benzohydrazide schiff base. **Journal of Applied Organometallic Chemistry**, v. 4, n. 1, p. 76-87, 2024.

[**66**] SALEH, R. A.; MAHAMAD, H. A.;·AL-JIBORI, S. A. Pd(II) na Pt(II) mixed ligand complexes containing 2,5dimercapto1,3,4thiadizole and 1,2bis(diphenylphosphino) ethane ligands, synthesis, characterization, crystal structure, anticancer and computational studies. **Chemistry Africa**, v. 7, p.3157-3169, 2024.

[**67**] ABDULLAH, A. M.; AL-HAMDANI, A. A. S.; ZOUBI, W. A. Synthesis, characterization and determination antioxidant activities for new azo dyederived from sulfamethoxazole and some metal ion complexes. **Ibn Al-Haitham Journal for Pure and Applied Sciences**, v. 37. n. 2, p. 242-259, 2024.

[**68**] ALANI, A. S, A. A.; SARHAN, B. M.; TRIPATHI, V. D. Synthesis and spectral study of new guanine derivative (N-((6-Oxo-6,9-Dihydro 1H-Purin-2-yl)carbamothioyl)propionamide) and its complexes with some metals ion. **Ibn Al-Haitham Journal for Pure and Applied Sciences**, v. 37. n. 2, p. 283-296, 2024.

[**69**] AL-ADILEE, K. J.; JAWAD, S. H.; KYHOIESH, H A. K.; HASSAN, H. M. A. Synthesis, characterization, biological applications, and molecular docking studies of some transition metal complexes with azo dye ligand derived from 5-methyl imidazole. **Journal of Molecular Structure**, v.1295, p. 136695, 2024.

[**70**] ABU-DIEF, A. M.; EL-DABEA, T.; EL-KHATIB R. M.; FEIZI-DEHNAYEBI, M.; ALJOHANI, F. S.; Al-GHAMDI, K.; BARNAWI. I; O.; EL-REMAILY, M. A. E. A. A. A. Synthesize, structural inspection, stoichiometry in solution and DFT calculation of some novel mixed ligand complexes: DNA binding, biomedical applications and molecular docking approach. **Journal of Molecular Liquidiz**, v.399, p. 124422, 2024.

[**71**] TURAN, N.; SEYMEN, H.; GÜNDÜZ, B.; BULDURUN, K.; ÇOLAK, N. Synthesis, characterization of Schiff base and its metal complexes and investigation of their electronic and photonic properties. **Optical Materials**, v. 148, p. 114802, 2024.

[**72**] ADAM, M. S. S. Bimetallic homoleptic divalent metal-complexes of diisatin dihydrazone ligand. Biological activity and catalytic oxidation of sulfides. **Inorganic Chemistry Communications**, v. 162, p. 112261, 2024.

CAPÍTULO 6

CONDIÇÕES ACÚSTICAS EM SALAS DE AULA

Data de submissão: 04/12/2024 *Data de aceite: 02/01/2025*

Maria Lúcia Grillo
Universidade do Estado do Rio de Janeiro/Instituto de Física

Valéria Prestes Lemos
Universidade do Estado do Rio de Janeiro/Instituto de Física

Luiz Roberto Perez Lisbôa Baptista
Universidade do Estado do Rio de Janeiro/Instituto de Física

Elcio Antônio Corrêa Ribeiro
Universidade do Estado do Rio de Janeiro/Instituto de Física

Luis Felipe Furtado Geraldeli
Universidade do Estado do Rio de Janeiro/Instituto de Física

RESUMO: O conceito de ruído é algo subjetivo, que pode variar dependendo da ocasião, por exemplo, o som emitido por um instrumento musical pode ser agradável, ou não, se o silêncio é necessário para realizar alguma atividade. Do ponto de vista psico-acústico, ruído pode ser definido como um som desagradável. O ruído prejudica qualquer tipo de trabalho e este foi o tema do INAD 2024 (Dia Internacional de Conscientização sobre o Ruído). Este artigo aborda as condições acústicas em salas de aula e a saúde dos docentes, em diferentes níveis de ensino, do setor público e privado. O tema pode ser usado no ensino médio ou superior de Física. Em uma abordagem de ensino construtivista, pode ser usado como uma situação problema, seguido do ensino de fundamentos da Acústica. Em um local onde a concentração e o bem-estar são elementos fundamentais para se alcançar o sucesso educacional, os ruídos excessivos trazem consequências graves aos envolvidos. A metodologia utilizada foi por meio da aplicação de um questionário utilizando a ferramenta Google Forms, contendo nove perguntas. Os resultados foram analisados e representados por gráficos de setores abordando a estatística das respostas. Comprovamos que o excesso de ruído, proveniente de várias fontes, não prejudica apenas a audição dos professores, mas também o seu desempenho como profissional e também a comunicação. Naturalmente a saúde dos estudantes também é afetada. Não raro estes profissionais necessitam se afastar por estresse ou esgotamento, dentre outros problemas de saúde. Este trabalho tem como objetivo observar a influência

dos ruídos nas salas de aula e o seu impacto no processo ensino–aprendizagem, visando melhorias. Foram constatados os principais obstáculos observados por esses docentes, bem como os diversos problemas de saúde relatados. Vimos que, em geral, as escolas e universidades não são construídas levando em conta as condições acústicas. Desta forma, faz–se necessário um aprofundamento no estudo da acústica em ambientes de ensino e nas possíveis soluções para este problema.
PALAVRAS-CHAVE: Acústica de salas, saúde do docente, ruídos na sala de aula, ensino de Física

ABSTRACT: The concept of noise is subjective, which may vary depending on the occasion, for example, the sound emitted by a musical instrument can be pleasant or not, whether silence is necessary to perform any activity. From a psycho-acoustic point of view, noise can be defined as an unpleasant sound. The noise impairs any type of work and this was the theme of INAD 2024 (International Noise Awareness Day). This article addresses the acoustic conditions in classrooms and the health of teachers at different levels of education, the public and private sector. The theme can be used in high school or higher physics. In a constructivist teaching approach, it can be used as a problem situation, followed by teaching the foundations of acoustics. In a place where concentration and well-being are fundamental elements to achieve educational success, excessive noise have serious consequences to those involved. The methodology used was by applying a questionnaire using the Google Forms tool, containing nine questions. The results were analyzed and represented by sector graphs addressing the statistics of the answers. We prove that excessive noise from various sources is not only impairing teachers' hearing, but also their performance as a professional and communication. Naturally student health is also affected. Often these professionals need to move away from stress or exhaustion, among other health problems. This work aims to observe the influence of noise on classrooms and their impact on the teaching-learning process, aiming at improvements. The main obstacles observed by the teachers were found, as well as the various health problems reported. We have seen that, in general, schools and universities are not built taking into account the acoustic conditions. Thus, it is necessary to deepen the study of acoustics in teaching environments and possible solutions to this problem.
KEYWORDS: Room acoustics, teacher health, noise in the classroom, Physics teaching

1 | INTRODUÇÃO

Tendo em vista que os seres humanos possuem 5 sentidos (visão, tato, olfato, paladar e audição) e comparando os graus de importância dos sentidos, notamos que, por falta de informação adequada, a audição é relegada a uma condição precária, sem muito destaque, como se fosse um sentido humano menor, sem efeitos danosos físicos aparentes para o ser humano e os outros animais. Temos várias notícias de pessoas que se aposentaram precocemente por conta de exposição contínua aos ruídos e sons em um nível de intensidade sonora acima dos limites previstos nas Normas Acústicas, que regulam esses mesmos limites de intensidade e tempo de exposição. Os cachorros têm alta

sensibilidade para os ultrassons, que os seres humanos não percebem, portanto sofrem muito mais com ruídos excessivos, como queima de fogos de artifício, motos e carros muito barulhentos.

Segundo Grillo e Perez (2013), os sentidos são canais de percepção sobre os quais moldamos nossa personalidade, pois determinam a forma como percebemos as coisas ao nosso redor.

Os rumos que a Educação tomou ao longo dos anos facilitam o comportamento extremamente visual da sociedade. Foram retirados elementos importantes e nada foi colocado no lugar, como, por exemplo, a retirada do ensino de música das escolas, (felizmente, hoje o ensino de música é obrigatório até o 5º ano do Ensino Fundamental), e a gradativa desvalorização do Latim como referência para o ensino do português são alguns exemplos. A Música era uma forma de incentivar a criatividade, fator tão importante na educação, e estimular o trabalho em grupo. Trabalhar a percepção dos 5 sentidos deveria ser missão precípua das escolas. A falta de um cronograma de trabalho educacional, que viabilize esse trabalho, atrapalha muito o resultado final do que se espera da educação eficaz.

O ruído é prejudicial à saúde, já fartamente comprovado por pesquisadores. Começa prejudicando a concentração e o aprendizado nas salas de aula, depois levando a problemas sérios de saúde como rouquidão, cefaleia, irritabilidade, isso em uma análise preliminar, podendo chegar a problemas mais graves se a exposição é contínua, por muito tempo e diariamente.

Pessoas que moram próximas a obras, suportam ruídos excessivos diários, em geral de 8h até 20h. Principalmente os bate-estacas, fazem um barulho muito intenso, o que gera problemas como cefaleia, dentre outros. As consequências pela longa exposição aos ruídos excessivos, como o citado, podem ser graves. Imaginem uma pessoa que comece a trabalhar aos 20 anos em um lugar com ruídos excessivos diariamente. Deveria se aposentar aos 55 anos, mas pede aposentadoria aos 30 anos por surdez progressiva, devida à exposição contínua a ruídos acima do que as Normas Acústicas permitem. Portanto 25 anos a menos do que a lei trabalhista determina, causando um prejuízo grande aos serviços públicos de segurança social. Temos então aí um problema que ultrapassa o cuidado com a saúde dos professores e demais trabalhadores, pode trazer problemas sócio-econômicos que envolveriam uma grande quantidade ativa economicamente da população. Já existem várias pessoas aposentadas por exposição contínua ao ruído.

O mundo hoje é muito ruidoso com motos, carros, ônibus, aviões, obras, bailes funks, que atormentam a população por várias horas, fazendo parecer que a audição é um sentido sem importância.

2 I O CONSTRUTIVISMO E AS METODOLOGIAS ATIVAS

Segundo Cavalcante (2024), o Construtivismo é uma abordagem pedagógica que enfatiza a construção ativa do conhecimento pelos alunos. Desde Jean Piaget (1896-1980), os modelos pedagógicos enfatizam cada vez mais a posição do professor como orientador e facilitador no ensino, que deve ter o estudante como protagonista. Cavalcante (2024) destaca que o paradigma construtivista enfatiza a importância da reflexão crítica e da prática colaborativa, partindo de situações-problema.

Mais recentemente foram desenvolvidas as chamadas Metodologias Ativas, que são um conjunto de atividades a serem aplicadas em sala de aula. Segundo Grillo e Freitas (2021), a Sala de Aula Invertida (Flipped Classroom) vem se destacando como uma das possíveis formas de uma aprendizagem ativa. E citam que não se trata de algo inédito e que não existe uma única forma de inverter as aulas, e dão alguns exemplos: Instrução pelos colegas, ou por pares (Peer Instruction), Ensino sob Medida (Just-in-time Teaching), Aprendizagem Baseada em Equipes (Team Based Learning) e Aprendizagem Baseada em Projeto (Project-Based Learning).

Podemos observar que ainda hoje os estudantes, principalmente do nível médio, consideram a disciplina de Física difícil e sem relação com o cotidiano. Naturalmente isso ocorre quando a abordagem é tradicional, que não parte de aspectos do cotidiano dos alunos.

Partindo então de uma situação-problema, acessível a todos, pode ser confirmada a necessidade e a importância do estudo da Acústica, para melhorar o entendimento dos conteúdos das aulas, bem como da saúde.

Neste trabalho questionamos os professores sobre as condições acústicas de salas de aulas. O estudo pode servir como ponto de partida da abordagem de uma situação-problema. Os estudantes podem preparar um questionário a ser respondido por eles próprios e por colegas. A metodologia abrirá o interesse dos estudantes para medidas de níveis de pressão sonora, que poderão ser feitas com sonômetros, se disponíveis, ou mesmo com o uso de aplicativos de celular (por exemplo, o Decibelímetro), que em geral fornecem uma boa ordem de grandeza dos valores a serem medidos. Trata-se de um bom começo para o estudo das ondas sonoras e demais temas da Acústica.

3 I DESCRIÇÃO DO TRABALHO DESENVOLVIDO

Este trabalho apresenta uma pesquisa sobre ruídos, especialmente em salas de aula, de qualquer nível de ensino, e como os professores são afetados.

3.1 O som e sua percepção

Em princípio, podemos definir o som, segundo Grillo e Perez (2016), como

uma variação da pressão ambiente detectável pelo sistema auditivo, uma onda sonora (mecânica) que percorre um caminho em um meio material até os ouvidos. Rossing (1990) nos lembra que a percepção envolve não apenas a recepção da informação pelo órgão sensorial apropriado (o ouvido, no caso da audição), mas a decodificação, transmissão e processamento da informação pelo sistema nervoso central; e o entendimento desse processo envolve várias áreas, como: física, psicologia, fisiologia, engenharia, matemática, dentre outras. E é exatamente nesse caminho interdisciplinar que temos encaminhado nossas pesquisas.

A melhor maneira que usamos para medir o som que percebemos é através do nível de pressão sonora (ou nível de intensidade sonora, ou ainda, nível de potência sonora), que matematicamente, são grandezas expressas através de uma relação logarítmica de uma razão, em decibel (ver tabela 1). A origem disso está na interessante lei de Fechner, que relaciona estímulo e sensação (BISTAFA, 2011).

A sensação auditiva do ouvido humano vai de 0 dB até cerca de 120 dB. Podemos comparar esses níveis como: 10 dB, que é pouco audível, a um farfalhar de folhas de árvores e 120 dB a uma decolagem a jato a 60 m de distância, sendo que 110 dB já é considerado intolerável, segundo Rossing (1990), comparável a uma intensa construção civil.

A forma de medirmos esses valores é através do sonômetro, que nos fornece grandezas expressas matematicamente, conforme tabela 1.

Grandezas físicas	expressões	constantes
Nível de intensidade sonora	$L_I = 10 \log (I/I_o)$	$I_o = 10^{-12}$ W/m^2
Nível de pressão sonora	$L_p = 10 \log (p/p_o)$	$P_o = 2 \times 10^{-5}$ N/m^2 (Pa)
Nível de potência sonora	$L_W = 10 \log (W/W_o)$	$W_o = 10^{-12}$ W

onde: Io, po e Wo são grandezas relacionadas à nossa capacidade de audição. Podemos observar que, se I = Io, o nível de intensidade sonora será nulo. O mesmo ocorre nas outras duas expressões.

Tabela 1: Níveis sonoros fornecidos pelo sonômetro

3.2 Problemas de saúde causados pelos ruídos

Segundo Schafer (2001), uma definição amplamente aceita para ruído é “som indesejado”, o que confere ao termo uma natureza subjetiva. O que pode ser considerado música para uma pessoa, pode ser percebido como ruído para outra. Em uma sociedade específica, geralmente há um consenso maior do que divergências sobre quais sons são considerados “interferências indesejadas”. Gerges (1991) destacou que, embora som e ruído compartilhem do mesmo fenômeno físico, não são sinônimos. O ruído é um tipo específico de som, mas nem todo som é necessariamente considerado ruído. Do ponto de vista psicoacústico, o ruído é percebido como uma sensação desagradável provocada pela recepção de energia acústica. Conforme a norma ABNT-NBR 16.313 (2014), ruído é todo

som que pode causar incômodo, ser indesejável ou não inteligível.

Segundo Zajarkiewicch (2010), a poluição sonora pode ser definida legalmente como "a degradação da qualidade ambiental resultante de atividades que direta ou indiretamente lancem energia em desacordo com os padrões ambientais estabelecidos".

Nem sempre o profissional, em seu trabalho, dispõe de um ambiente acusticamente adequado. Os professores são, em geral, envolvidos por diferentes tipos de ruídos em seu trabalho, o que pode causar sérios problemas de saúde e de comunicação.

O problema auditivo é o mais observado e que, se não tratado em tempo, pode levar a danos irreparáveis. Há muitos outros danos à saúde, causados por ruídos elevados (muitos decibels) em um longo tempo. A diabetes pode ser uma das consequências à exposição aos ruídos, segundo Clark e outros (2017). Os problemas cardiovasculares em trabalhos da indústria são citados por Assunta e outros (2015). Vemos também na literatura, outros problemas como hipertensão (Sorensen, 2017), saúde infantil (Gupta e outros, 2018) e outros adoecimentos (Riveiro, 2010). Além desses, que podem atingir qualquer profissional, independente da área, uma vez expostos a ruídos, há os problemas específicos dos que usam muito a voz, como professores, que, muitas vezes envoltos em ruídos elevados, tentam superar os mesmos através de falas mais intensas, principalmente por tempos elevados, causando problemas nas cordas vocais, bem como estresse.

Segundo Guimarães (2004), apesar de muitas vezes os professores identificarem problemas na voz, nem sempre procuram solução, ao passo que o melhor seria a prevenção. A inteligibilidade da mensagem pode ser prejudicada devido a problemas na voz. Smith et al. (1997, apud Guimarães, 2004) "referem que nos Estados Unidos os sintomas de perturbação da voz referidos pelos professores representam mais do dobro dos indicados por outros profissionais (67% versus 33%)", e os professores são os que possuem mais dificuldade de comunicação em ambientes ruidosos. Guimarães (2004) cita que, num estudo com 73 casos, os professores foram os que apresentaram maior incidência de nódulos vocais, seguidos dos cantores e dos comediantes.

Os problemas de saúde, gerados por ambientes insalubres acusticamente, podem gerar inclusive aposentadorias precoces, se forem comprovadas irregularidades no ambiente.

3.3 Normas acústicas

Os níveis sonoros e as durações dos sons determinam se os sons serão prejudiciais ou não à saúde. As normas acústicas ABNT NBR 10.151 (2000) e 10.152 (2017) indicam os níveis máximos apropriados, em ambientes internos e externos, para uma vida saudável, e a norma NR 15 (2020) indica as durações adequadas para cada nível.

A norma regulamentadora número 15, do Ministério do Trabalho e Emprego, em um de seus anexos, trata da exposição dos trabalhadores a ruídos. A máxima exposição

diária permitida, a ruídos, depende do nível de intensidade sonora. Para nível de 85 dB a tolerância é de 8h, ao passo que 115 dB, é de apenas 7 min.

Buscando garantir a saúde, o bem-estar e a qualidade de vida da população, a Associação Brasileira de Normas Técnicas desenvolveu a Norma Brasileira 10.152 (NBR 10.152). Essa norma estabelece procedimentos e parâmetros técnicos para medição e avaliação dos níveis de pressão sonora (Leq – nível equivalente médio e Lmáx – nível máximo), adequados para ambientes internos a edificações, fixando os valores máximos que asseguram o conforto acústico e a proteção contra os efeitos nocivos do ruído excessivo (ABNT, 2017), conforme tabela 2.

Ambientes Educacionais	**L_{eq} (dB)**	**$L_{máx}$ (dB)**
Circulações	50	55
Berçários	40	45
Salas de aula	35	40
Salas de música	35	40

Tabela 2: Valores de referência para o nível de pressão sonora em ambientes educacionais

Fonte: (ABNT, 2017) adaptada pelos autores

4 I RESULTADOS OBTIDOS

Foi preparado um questionário, com 9 perguntas sobre as condições acústicas das salas de aula, além de duas perguntas iniciais sobre o nível de ensino e o tipo da rede de ensino (pública ou privada). Através de um formulário Google, 130 professores, de vários Estados brasileiros, responderam às perguntas, no link: https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLScf0Z8e7Bcu4dE0ToJw_YY1OpSXorRfg9gYmQlKjKe3qe4lRQ/viewform.

Quanto ao nível de ensino, e o tipo de rede, foram obtidas as respostas mostradas na figura 1:

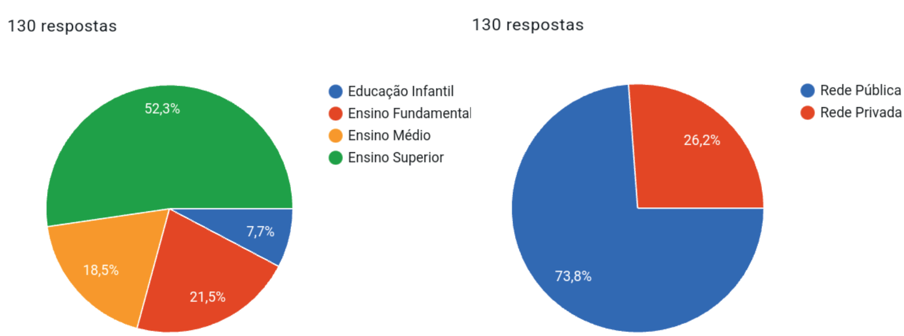


Figura 1: Nível e tipo de rede de ensino

Segundo alguns entrevistados, a divulgação é um meio eficaz para combater os malefícios do ruído excessivo na atividade docente. Organizar palestras e workshops,

publicar artigos em revistas científicas, lançar campanhas informativas, com vídeos e folhetos, postagens em redes sociais, produzir cartazes e materiais educativos, desenvolver questionários para avaliar a percepção sobre os impactos do ruído na saúde e, organizar apresentações e oficinas práticas que mostrem a diferença entre situações ideais e reais de ruído, seriam iniciativas importantes nesse sentido.

Para outros entrevistados, é importante controlar os ruídos próximos às escolas e universidades, assim como realizar reparos fora dos horários das aulas. Também importante é pensar em ajustes dos códigos de obras municipais para garantir um tratamento acústico adequado em edifícios de educação e saúde, com base em monitoramentos locais e no mapa de ruído municipal.

Alguns fizeram uma apreciação crítica quanto a arquitetura escolar que, frequentemente, carece de ventilação adequada, o que torna o ambiente insalubre. Propuseram então, uma melhora no isolamento acústico com materiais absorventes, além de manutenção ou substituição de equipamentos antigos.

Na área da saúde, apresentaram sugestões de sensibilização auditiva com toda a comunidade escolar, além de programas de saúde vocal para profissionais da educação. Afirmaram a importância de ensinar as crianças a falar em tons vocais confortáveis, sem gritar habitualmente ou falar todos ao mesmo tempo. Foi citado também o problema dos neurodivergentes (abrange uma variedade de condições neurológicas fora do padrão convencional, como autismo, TDAH e dislexia), para quem os ruídos incomodam mais ainda, o que não é divulgado.

Para alguns entrevistados, é essencial que as Secretarias de Ensino (municipal e estadual) e o Ministério da Educação (federal) promovam material instrucional sobre o tema e criem leis que obriguem a adequação nas salas de aula. Além disso, é fundamental implementar políticas de controle de ruído e motivar a administração pública a abordar as causas dos ruídos.

E finalmente, alguns mencionaram que, ao trazer a questão para ser discutida e dar visibilidade ao problema, raramente viram esse tema, tão importante, ser abordado entre docentes, discentes e a administração das instituições de ensino.

5 | ALGUNS RESULTADOS NUMÉRICOS OBTIDOS ANTERIORMENTE

Os resultados obtidos nesta pesquisa são qualitativos. Alguns resultados numéricos (médios) confirmam as percepções apresentadas.

Em uma universidade, Grillo e Baptista (2022) mediram, em uma sala de aula vazia, Leq de 59,7 dB e em uma sala de aula com ar refrigerado ligado, também vazia, o valor de 63,1 dB.

Segundo Franco, Grillo e Baptista (2012), “há necessidade de atenção e pesquisa na questão ambiental sonora em ambientes de aprendizagem, criando-se programas de

controle de ruído para conscientização da comunidade escolar e da população". Foram feitas medidas em três escolas de nível médio e fundamental. Todos os valores obtidos estão muito acima dos indicados como adequados, na norma NBR 10.152. Os valores apresentados são de Leq entre 64 dB e 83 dB.

Grillo, Baptista e Barros (2014) fizeram um estudo das condições acústicas em alguns ambientes em uma universidade. Além das salas de aula, mediram os níveis sonoros em biblioteca, hall e restaurante. Todos os níveis encontrados estão acima da norma 10.152. Em uma sala de aula o nível médio obtido foi de 56,5 dB.

6 I CONSIDERAÇÕES E CONCLUSÕES

Um importante aspecto observado foi o fato de 83,5% dos professores afirmarem que as fontes de ruído atrapalham a compreensão do conteúdo discutido ou apresentado em sala de aula. Este resultado corrobora a importância do estudo e a necessidade de encontrar soluções viáveis para minimizar tais problemas.

A figura 2 ilustra as principais fontes de ruídos relatadas pelos professores. Diante dos resultados observados, é possível identificar que os aparelhos de ar-condicionado representam uma fonte de ruído sistêmica nas salas de aula. Vemos que 80 docentes responderam que esses equipamentos causam desconforto e atrapalham o prosseguimento das aulas, indicando que os aparelhos podem estar ultrapassados ou não recebem manutenções periódicas. Ruídos externos também foram observados, sendo que 53,10% dos professores relataram problemas com barulhos advindos do corredor, ou seja, é possível inferir que a maioria das salas de aula não possuem um isolamento acústico adequado capaz de atenuar os sons externos.

A partir das respostas recebidas, concluímos que tanto os ruídos internos quanto os externos, causam distrações, fadiga e dificultam a comunicação. Segundo os relatos obtidos, os alunos ficam dispersos e cansados, o que compromete sua capacidade de absorver e compreender o conteúdo apresentado.

Um aspecto importante levantado pela pesquisa diz respeito à saúde dos professores, 71,5% afirmaram ter desenvolvido algum problema de saúde, tais como: estresse, fadiga auditiva, problemas nas cordas vocais entre outras, sendo que destes, apenas 32,2% afirmaram ter procurado ajuda médica. Esse é um dado muito alarmante, pois indica que em geral os docentes não buscam tratamento para essa questão, o que pode levar a agravamentos de diversos problemas de saúde a longo prazo, inclusive a aposentadoria precoce.

Dos 76,2% que afirmaram que as salas são inadequadas, 39,1% buscaram melhorar o ambiente e, apenas 1 entrevistado disse que já foi conversado com a direção da escola.

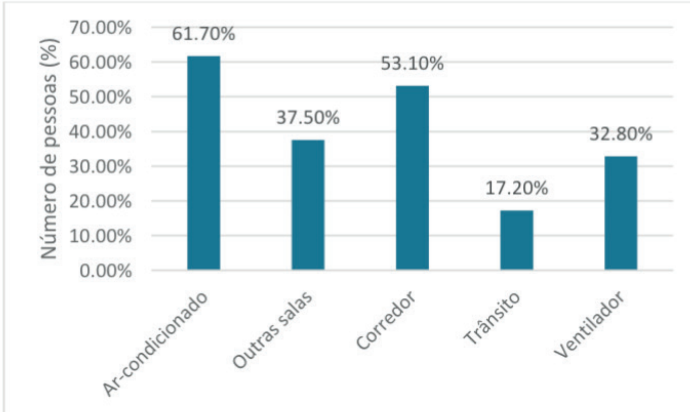


Figura 2: Principais fontes de ruídos mencionados

Fonte: Os autores.

Os valores numéricos, obtidos da literatura, confirmam a percepção dos professores que responderam à pesquisa qualitativa aqui apresentada.

Vemos então que o problema do ruído em salas de aula é bastante comum. Conforme Brandão et al (2017) nos lembram, para que haja inteligibilidade, a voz do professor deve ter energia superior aos ruídos, o que leva a problemas nas cordas vocais, voz rouca, estresse, dores de garganta. Além desses problemas, conforme citado anteriormente, os ruídos podem prejudicar a saúde do professor de várias outras maneiras, bem como a saúde dos estudantes. Trata-se de um tema importante, que pode ser abordado em aulas de Física, tanto do nível médio quanto do nível superior, e que deve ser mais divulgado para que soluções sejam buscadas.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos aos professores que gentilmente responderam ao nosso questionário e assim contribuíram com a presente pesquisa.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR 10.151: **Acústica – Avaliação do ruído em áreas habitadas, visando o conforto da comunidade**. Rio de Janeiro, 2000.

ABNT NBR 16.313: **Acústica – terminologia**. Rio de Janeiro, 2014.

ABNT NBR 10.152: **Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações**. Rio de Janeiro, 2017.

ASSUNTA, C. et al. Noise and cardiovascular effects in workers of the sanitary fixtures industry. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, Bochum, Germany, v. 218, n.1, p. 163-168, 2015.

BISTAFA, S. R. **Acústica aplicada ao controle do ruído**. São Paulo: Blucher, 2011.

BRANDÃO, R. et al. Ruído em Salas de Aula: Um Estudo Sobre os Problemas de Inteligibilidade. **Revista Salão do Conhecimento**. Ijuí, Rio Grande do Sul. Anais do XXV Seminário de Iniciação Científica, 2017. Disponível em: https://www.publicacoeseventos.unijui.edu.br//index.php/salaoconhecimento/article/view/8235. Acesso em: 3/12/2024.

CAVALCANTE, E. de A. Uma revisão sistemática de literatura sobre a formação de professores construtivistas. **Education: Theory, methods and perspectives for evolution,** p. 68-77. São José dos Pinhais, PR: Seven Editora, 2024.

CLARK, C. et al. Association of Long-Term Exposure to Transportation Noise and Traffic-Related Air Pollution with the Incidence of Diabetes: A Prospective Cohort Study. **Environmental Health Perspectives**, Durham, England, v. 125, n. 8, p. 087025-1 - 087025-10, 2017.

FRANCO, W. O.; BAPTISTA, M. L. G. P.; BAPTISTA, L. R. P. L. Ruído Ambiental em Ambientes de Aprendizagem. **Anais do VIII Congresso Iberoamericano de Acústica**, Évora, Portugal, 2012.

GERGES, S. **Efeito do ruído e vibrações no homem. Ruído e vibrações industriais, fundamentos e controles**. Florianópolis: Ed. Samir, 1991.

GRILLO, M. L.; PEREZ, L. R. **A Física na Música**. Rio de Janeiro: Eduerj, 2013.

GRILLO, M. L.; BAPTISTA, L. R.; BARROS, J. D. Estudo das condições acústicas em alguns ambientes de uma universidade brasileira. **Anais do 45o Congresso Espanhol de Acústica**, Múrcia, Espanha, 2014.

GRILLO, M. L.; PEREZ, L. R. **Física e Música**. São Paulo: Livraria da Física, 2016.

GRILLO, M. L.; BAPTISTA, L. R. P. L., Práticas experimentais sobre poluição sonora. **Ciências exatas e da terra: conhecimentos didático-pedagógicos e o ensino-aprendizagem**. Ponta Grossa, PN: Atena Ed., 2022.

GRILLO, M. L. N. e FREITAS, F. S. A poluição sonora e o ensino de Física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, vol. 43, e20210302, 2021.

GUIMARÃES, I. Os problemas de voz nos professores: prevalência, causas, efeitos e formas de prevenção. **Revista Portuguesa de Saúde Pública**, Lisboa, Portugal, v. 22, n. 2, jul-dez 2004.

GUPTA, A. et al. Noise Pollution and Impact on Children Health. **The Indian Journal of Pediatrics**, New Delhi, India, 85, p. 300-306, 2018.

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. NR-15: **Atividades e Operações Insalubres – Anexo 1: Limites de Tolerância para Ruído Contínuo ou Intermitente**. Brasília, 2020.

RIVEIRO, V. F. M. **Ruído e suas consequências para o adoecimento**. Trabalho de conclusão, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2010.

ROSSING, T. D. **The Science of Sound**, 2a ed. New York: Addison-Wealey, 2009.

SCHAFER, R. M. **A Afinação do mundo**. São Paulo: Editora UNESP, 2001.

SORENSEN, M. Aircraft noise exposure and hypertension, **Occupational Environmental Medicine**, Utrecht, The Netherlands, v. 74, n. 2, february 2017.

ZAJARKIEWICCH, D. F. B. **Poluição sonora urbana: principais fontes. Aspectos jurídicos e técnicos**. Dissertação de Mestrado, Pontifícia Universidade Católica de São Paulo, São Paulo, 2010.

SOBRE O ORGANIZADOR

FABRÍCIO MORAES DE ALMEIDA - Professor do Departamento de Engenharia Elétrica – UFRO e Professor/Pesquisador do Programa de Doutorado PGDRA/UFRO. Líder do grupo de pesquisa GEITEC (www.geitec.unir.br). Áreas de atuação: Ciências Exatas e da Terra; Ciência de dados. Engenharia; Engenharia de computação. Engenharia de Software; Engenharia Elétrica. Engenharia de Produção; Gestão, Tecnologia e Inovação; Modelagem e Ciências Ambientais; Sistema de Computação e Energia. É Doutor em Física pela UFC desde 2005 com pós-doutorado – UFMT/CNPq (2009), era bolsista Desenvolvimento Tecnológico Industrial – nível A do CNPq (2023 até janeiro de 2024) e para saber mais, acesse: https://www.researchgate.net/profile/Fabricio-Almeida



FRONTEIRAS DO CONHECIMENTO NAS

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2025



FRONTEIRAS DO CONHECIMENTO NAS

CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA

www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br
@atenaeditora
www.facebook.com/atenaeditora.com.br

Atena Editora
Ano 2025